

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»**

**Институт технологий и инженерной механики
Кафедра обработки металлов давлением и сварки**

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

Могильная Е.П.



« 18 » 04 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ»**

По направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение

Магистерская программа «Технологии и машины обработки давлением»

Луганск 2023

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Математическое моделирование специальных процессов обработки давлением» для магистров по направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение. – __ с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Математическое моделирование специальных процессов обработки давлением» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «14» августа 2020 года № 1025.

СОСТАВИТЕЛЬ:

канд. техн. наук, доцент Стоянов А.А.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры обработки металлов давлением и сварки
«11» 04 2023 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой _____ А.С. А.А. Стоянов

Переутверждена: «__» _____ 20__ г., протокол № __

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики
«18» 04 2023 г., протокол № 3

Председатель учебно-методической
комиссии института технологий
и инженерной механики

_____ С.Н. Ясуник С.Н. Ясуник

© Стоянов А.А., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

Структура и содержание дисциплины

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель изучения дисциплины – формирование навыков математического моделирования специальных процессов обработки металлов давлением, анализа технологических процессов с позиции возможности определения наилучших технологических режимов, посредством применения методов математического моделирования.

Задачей изучения дисциплины является формирование у обучающихся компетенций в области математического моделирования специальных процессов обработки металлов давлением для их использования в производственно-технологической и научно-исследовательской областях деятельности.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Математическое моделирование специальных процессов обработки давлением» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока «дисциплины» учебного плана по направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение.

Основывается на базе дисциплин: «Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки», «Конструирование автоматических и роботизированных машин, модулей и комплексов», «Математическое моделирование процессов холодной объемной штамповки».

Является основой для изучения следующих дисциплин: «Математическое моделирование процессов листовой штамповки», «Роботы и робототехнические комплексы в кузнечно-штамповочном производстве», выполнения научно-исследовательской работы и подготовки к написанию выпускной квалификационной работы.

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ПК-5. Способен осуществлять контроль технического состояния кузнечно-штамповочного оборудования и автоматизированных комплексов	ПК-5.1. Знает основные технологические процессыковки и штамповки ПК-5.2. Умеет проводить расчеты технологииковки и поиск оптимальных режимов работы кузнечно-штамповочного оборудования ПК-5.3. Владеет навыками разработки штамповой оснастки и приспособлений для операций	знать: методы расчета параметров оборудования и автоматизированных комплексов; требования к кузнечно-штамповочному оборудованию и критерии их качества; методы расчета механических, гидравлических и пневматических приводов, кузнечно-штамповочного оборудования, автоматизированных комплексов и средств автоматизации
		уметь: определять необходимость применения и использования того или

	ковки и штамповки	иного способа изготовления поковок; решать задачи оптимального выбора кузнечно-штамповочного оборудования и автоматизированных комплексов; определять исходные данные для проектирования технологии изготовления поковок и штамповок
		владеть: информацией о технических характеристиках и технологических возможностях различных видов кузнечно-штамповочного оборудования и автоматизированных комплексов; навыками разработки технических заданий на проектирование технологии изготовления поковок и штамповок; навыками сбора и анализа технической информации по основному и вспомогательному оборудованию для обоснованного принятия решений по дальнейшему использованию в кузнечно-штамповочном производстве

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	180 (5,0 зач. ед)	180 (5,0 зач. ед)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)	60	12
в том числе:		
Лекции	12	4
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	48	8
Лабораторные работы	-	-
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса	-	-
Самостоятельная работа студента (всего)	120	168
Итоговая аттестация	экзамен	экзамен

4.2. Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Общие положения математического моделирования с использованием методом конечных элементов.

Преимущества МКЭ. Основные этапы численной реализации МКЭ. Построение разрешающей системы уравнений. Выделение конечных

элементов. Принципы классификации конечных элементов. Глобальная и локальная нумерация узлов элементов.

Тема 2. Определение аппроксимирующей функции элементов. Симплекс-элементы.

Виды аппроксимирующих функций. Симплекс-, комплекс- и мультиплекс-элементы. Свойства симплекс-элементов. Одно-, дву- и трехмерные симплекс-элементы. Аппроксимация векторных величин. Функции формы.

Тема 3. Объединение конечных элементов в ансамбль.

Техника включения в общий ансамбль скалярных величин. Процедура объединения конечных элементов в ансамбль при аппроксимации векторных величин. Методы построения разрешающей системы уравнений. Метод Бубнова-Галёркина.

Тема 4. Задача упругопластичности в МКЭ. Общая постановка.

Методы решения задач теории упругости. Принцип минимума потенциальной энергии для линейноупругой системы. Глобальная и локальная матрицы жесткости. Виды нагрузок при построении локальных матриц элементов. Одномерная линейная упругость. Температурная деформация стержня.

Тема 5. Дву- и трехмерные задачи линейной упругости в МКЭ.

Плоское напряженное и плоское деформированное состояния. Вектор-столбец, связанный с тепловым расширением. Локальная матрица для трехмерного симплекс-элемента. Вектор-столбец поверхностной нагрузки.

Тема 6. Осесимметричные задачи линейной упругости. Физически нелинейные задачи.

Осесимметричный конечный симплекс-элемент. Два вида нелинейности: физическая и геометрическая.

Тема 7. Геометрически нелинейные задачи в МКЭ. Большие деформации.

Связь между компонентами перемещений и компонентами тензора деформаций при больших деформациях. Особенности решения задач для трансверсально-изотропных и анизотропных материалов. Задача вязкопластичности.

Тема 8. Задача стационарной теплопроводности. Одно-, дву- и трехмерный случай переноса тепла.

Граничные условия для задачи стационарной теплопроводности. Положительный и отрицательный поток тепла. Одномерный случай переноса тепла. Двумерный случай переноса тепла. Тепловой поток и конвективный теплообмен. Трехмерный случай переноса тепла. Матрица теплопроводности. Матрица механических свойств.

Тема 9. Нестационарные и динамические задачи теплопроводности.

Задача нестационарной теплопроводности. Матрица демпфирования. Динамические задачи. Методы аппроксимации частных производных по времени в нестационарных задачах. Матрица масс.

Тема 10. Общие положения метода граничных элементов. Переход от исходного дифференциального уравнения к интегральному.

Постановка краевой задачи в виде интегральных граничных уравнений. Разновидности МГЭ. Алгоритм перехода от исходного дифференциального уравнения к интегральному. Сингулярное решение. Источники погрешностей МГЭ.

Тема 11. Построение разрешающей системы алгебраических уравнений.

Дискретизация границы области. Получение матрицы коэффициентов. Составление разрешающей системы уравнений. Определение неизвестных фиктивных источников.

Тема 12. Задача линейной теории упругости в МГЭ.

Основные уравнения и фундаментальные сингулярные решения. Непрямой метод граничных элементов. Решение уравнений равновесия. Размерность алгебраической системы уравнений МГЭ. Прямой метод граничных элементов. Использование теоремы взаимности.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1.	Общие положения математического моделирования с использованием методом конечных элементов	2	0,5
2.	Определение аппроксимирующей функции элементов. Симплекс-элементы	2	0,5
3.	Дву- и трехмерные задачи линейной упругости в МКЭ	2	0,5
4.	Геометрически нелинейные задачи в МКЭ. Большие деформации	2	0,5
5.	Общие положения метода граничных элементов	2	1
6.	Задача линейной теории упругости в МГЭ	2	1
Итого:		12	4

4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1.	Основные этапы численной реализации МКЭ. Построение разрешающей системы уравнений. Выделение конечных элементов. Принципы классификации конечных элементов. Глобальная и локальная нумерация узлов элементов	4	2
2.	Свойства симплекс-элементов. Одно-, дву- и трехмерные симплекс-элементы. Аппроксимация векторных величин. Функции формы	4	2
3.	Процедура объединения конечных элементов в ансамбль при аппроксимации векторных величин. Методы построения разрешающей системы уравнений. Метод Бубнова-Галёркина	4	-
4.	Методы решения задач теории упругости. Принцип	4	-

	минимума потенциальной энергии для линейноупругой системы. Глобальная и локальная матрицы жесткости		
5.	Плоское напряженное и плоское деформированное состояния. Вектор-столбец, связанный с тепловым расширением	4	2
6.	Осесимметричные задачи линейной упругости. Осесимметричный конечный симплекс-элемент. Два вида нелинейности: физическая и геометрическая	4	-
7.	Связь между компонентами перемещений и компонентами тензора деформаций при больших деформациях. Особенности решения задач для трансверсально-изотропных и анизотропных материалов. Задача вязкопластичности	4	-
8.	Граничные условия для задачи стационарной теплопроводности. Положительный и отрицательный поток тепла. Одномерный случай переноса тепла. Двумерный случай переноса тепла. Тепловой поток и конвективный теплообмен. Трехмерный случай переноса тепла. Матрица теплопроводности	4	-
9.	Задача нестационарной теплопроводности. Матрица демпфирования. Динамические задачи. Методы аппроксимации частных производных по времени в нестационарных задачах	4	-
10.	Общие положения метода граничных элементов. Постановка краевой задачи в виде интегральных граничных уравнений. Разновидности МГЭ. Алгоритм перехода от исходного дифференциального уравнения к интегральному	4	2
11.	Дискретизация границы области. Получение матрицы коэффициентов. Составление разрешающей системы уравнений	4	-
12.	Задача линейной теории упругости в МГЭ. Основные уравнения и фундаментальные сингулярные решения. Непрямой метод граничных элементов. Решение уравнений равновесия	4	-
Итого:		48	8

4.5. Лабораторные работы

Лабораторные работы по дисциплине «Математическое моделирование специальных процессов обработки давлением» не предусмотрены учебным планом.

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1	2	3	4	5
1	Преимущества МКЭ. Основные этапы численной реализации МКЭ. Построение разрешающей системы уравнений. Выделение конечных элементов. Принципы классификации конечных элементов. Глобальная и локальная нумерация узлов элементов.	Поиск, анализ, структурирование и изучение информации по темам. Подготовка к промежуточному	10	14

2	Виды аппроксимирующих функций. Симплекс-, комплекс- и мультиплекс-элементы. Свойства симплекс-элементов. Одно-, дву- и трехмерные симплекс-элементы. Аппроксимация векторных величин. Функции формы.	контролю. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к итоговому контролю.	10	14
3	Техника включения в общий ансамбль скалярных величин. Процедура объединения конечных элементов в ансамбль при аппроксимации векторных величин. Методы построения разрешающей системы уравнений. Метод Бубнова-Галёркина.		10	14
4	Методы решения задач теории упругости. Принцип минимума потенциальной энергии для линейноупругой системы. Глобальная и локальная матрицы жесткости. Виды нагрузок при построении локальных матриц элементов. Одномерная линейная упругость. Температурная деформация стержня.		10	14
5	Плоское напряженное и плоское деформированное состояния. Вектор-столбец, связанный с тепловым расширением. Локальная матрица для трехмерного симплекс-элемента. Вектор-столбец поверхностной нагрузки.		10	14
6	Осесимметричный конечный симплекс-элемент. Два вида нелинейности: физическая и геометрическая.		10	14
7	Связь между компонентами перемещений и компонентами тензора деформаций при больших деформациях. Особенности решения задач для трансверсально-изотропных и анизотропных материалов. Задача вязкопластичности.		10	14
8	Граничные условия для задачи стационарной теплопроводности. Положительный и отрицательный поток тепла. Одномерный случай переноса тепла. Двумерный случай переноса тепла. Тепловой поток и конвективный теплообмен. Трехмерный случай переноса тепла. Матрица теплопроводности. Матрица механических свойств.		10	14
9	Задача нестационарной теплопроводности. Матрица демпфирования. Динамические задачи. Методы аппроксимации частных производных по времени в нестационарных задачах. Матрица масс.		10	14
10	Постановка краевой задачи в виде интегральных граничных уравнений. Разновидности МГЭ. Алгоритм перехода от исходного дифференциального уравнения к интегральному. Сингулярное решение. Источники погрешностей МГЭ.		10	14
11	Дискретизация границы области. Получение		10	14

	матрицы коэффициентов. Составление разрешающей системы уравнений. Определение неизвестных фиктивных источников.			
12	Основные уравнения и фундаментальные сингулярные решения. Непрямой метод граничных элементов. Решение уравнений равновесия. Размерность алгебраической системы уравнений МГЭ. Прямой метод граничных элементов. Использование теоремы взаимности.		10	14
Итого:			120	168

4.7. Курсовой проект. Курсовой проект по дисциплине «Математическое моделирование специальных процессов обработки давлением» не предусмотрен учебным планом.

5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины «Математическое моделирование специальных процессов обработки давлением» ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

технологии проблемного обучения, направленные на развитие познавательной активности, творческой самостоятельности студентов и предполагающие последовательное и целенаправленное решение студентом познавательных задач;

технологии развивающего обучения, позволяющие ориентировать учебный процесс на потенциальные возможности студентов, их реализацию и развитие;

технологии концентрированного обучения, суть которых состоит в создании максимально близкой к естественным психологическим особенностям человеческого восприятия структуры учебного процесса и которые дают возможность глубокого и системного изучения содержания учебных дисциплин за счет объединения занятий в тематические блоки.

6. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Трусова П.В., Введение в математическое моделирование : учеб. пособие / Под ред. П.В. Трусова - М. : Логос, 2017. - 440 с. - ISBN 978-5-98704-637-1 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987046371.html>
2. Губарь Ю.В., Введение в математическое моделирование / Губарь Ю.В. - М.: Национальный Открытый Университет "ИНТУИТ", 2016. - Текст :

электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : http://www.studentlibrary.ru/book/intuit_059.html

б) дополнительная литература:

1. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: М.: Физматлит, 2005.
2. Теория обработки металлов давлением / под ред. И.Я. Тарковского. – М: Metallurgizdat, 1963. – 672с.
3. Гун Г.Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением / Г.Я. Гун. – М: Metallurgiya, 1983. – 352 с.
4. Конспект лекций по дисциплине "Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки" (для магистрантов по направлению подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование», программа «Технологии и машины обработки давлением») [Электронное издание] / Сост.: А.А. Стоянов. – Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2018.
5. Р.Шеннон. Имитационное моделирование систем: искусство и наука. – М.: МИР, 1978. – 418с.
6. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. – 279 с.
7. Прудковский Б.А. Зачем металлургу математические модели? – М.: Наука, 1989. – 191 с.
8. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы методология. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 208 с.
9. Р.Шеннон. Имитационное моделирование систем: искусство и наука. – М.: МИР, 1978. – 418с.
10. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ANSYS>
11. http://tesis.com.ru/cae_brands/deform/

г) интернет-ресурсы:

1. Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>
2. Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>
3. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>
4. Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>
5. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>
6. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

1. Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

2. Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>
Информационный ресурс библиотеки образовательной организации
 1. Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Освоение дисциплины «Математическое моделирование специальных процессов обработки давлением» предполагает использование академических аудиторий, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Прочее: рабочее место преподавателя, оснащенное доской, компьютером. На лекционных и практических занятиях используются: раздаточный материал, наглядные пособия, мультимедийный проектор для показа фильмов, набор заимствованных кинофильмов, имеется экран, прессы, штампы, мерительные и др. инструменты.

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Антивирус	Avast	http://www.avast.com/ru-ru/index
Браузер	FirefoxMozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	MozillaThunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	FarManager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Распознавание текста	CuneiForm	http://cognitiveforms.ru/products/cuneiform/
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Видеоплеер	MediaPlayerClassic	http://mpc.darkhost.ru/
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

8. Оценочные средства по дисциплине

Паспорт оценочных средств по учебной дисциплине «Математическое моделирование специальных процессов обработки давлением»

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ПК-5	Способен проводить разработку высокоэффективных технологических операцийковки иштамповки	ПК-5.1. Знает основные технологические процессыковки иштамповки	Тема 1. Общие положения математического моделирования с использованием методом конечных элементов	3
				Тема 2. Определение аппроксимирующей функции элементов. Симплекс-элементы	3
				Тема 3. Объединение конечных элементов в ансамбль	3
				Тема 4. Задача упругопластичности в МКЭ. Общая постановка	3
				Тема 5. Дву- и трехмерные задачи линейной упругости в МКЭ	3
				Тема 6. Осесимметричные задачи линейной упругости. Физически нелинейные задачи	3
				Тема 7. Геометрически нелинейные задачи в МКЭ. Большие деформации	3
				Тема 8. Задача стационарной теплопроводности. Одно-, дву- и трехмерный случаи переноса тепла	3
				Тема 9. Нестационарные и динамические задачи теплопроводности	3
				Тема 10. Общие положения метода граничных элементов. Переход от исходного дифференциального уравнения к интегральному	3
				Тема 11. Построение разрешающей системы алгебраических уравнений	3
				Тема 12. Задача линейной теории упругости в МГЭ	3
			ПК-5.2. Умеет проводить расчеты технологииковки иштамповки и поиск оптимальных	Тема 1. Общие положения математического моделирования с использованием методом конечных элементов	3
				Тема 2. Определение аппроксимирующей функции элементов. Симплекс-элементы	3
				Тема 3. Объединение конечных элементов в ансамбль	3
				Тема 4. Задача упругопластичности в МКЭ. Общая постановка	3

			режимов работы кузнечно-штамповочного оборудования	Тема 5. Дву- и трехмерные задачи линейной упругости в МКЭ	3
				Тема 6. Осесимметричные задачи линейной упругости. Физически нелинейные задачи	3
				Тема 7. Геометрически нелинейные задачи в МКЭ. Большие деформации	3
				Тема 8. Задача стационарной теплопроводности. Одно-, дву- и трехмерный случаи переноса тепла	3
				Тема 9. Нестационарные и динамические задачи теплопроводности	3
				Тема 10. Общие положения метода граничных элементов. Переход от исходного дифференциального уравнения к интегральному	3
				Тема 11. Построение разрешающей системы алгебраических уравнений	3
				Тема 12. Задача линейной теории упругости в МГЭ	3
			ПК-5.3. Владеет навыками разработки штамповой оснастки и приспособлений для операций ковки и штамповки	Тема 1. Общие положения математического моделирования с использованием методом конечных элементов	3
				Тема 2. Определение аппроксимирующей функции элементов. Симплекс-элементы	3
				Тема 3. Объединение конечных элементов в ансамбль	3
				Тема 4. Задача упругопластичности в МКЭ. Общая постановка	3
				Тема 5. Дву- и трехмерные задачи линейной упругости в МКЭ	3
				Тема 6. Осесимметричные задачи линейной упругости. Физически нелинейные задачи	3
				Тема 7. Геометрически нелинейные задачи в МКЭ. Большие деформации	3
				Тема 8. Задача стационарной теплопроводности. Одно-, дву- и трехмерный случаи переноса тепла	3
				Тема 9. Нестационарные и динамические задачи теплопроводности	3
				Тема 10. Общие положения метода граничных элементов. Переход от исходного дифференциального уравнения к интегральному	3
				Тема 11. Построение разрешающей системы алгебраических уравнений	3
				Тема 12. Задача линейной теории упругости в МГЭ	3

**Показатели и критерии оценивания компетенций,
описание шкал оценивания**

№ п/п	Код контрольной	Индикаторы достижения компетенции	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
-------	-----------------	-----------------------------------	----------------------------------	--	----------------------------------

	компете нции				
1	ПК-5	ПК-5.1. Знает основные технологические процессыковки и штамповки	<i>знать</i> методы расчета параметров оборудования и автоматизированных комплексов; <i>уметь</i> определять необходимость применения и использования того или иного способа изготовления поковок; <i>владеть:</i> информацией о технических характеристиках и технологических возможностях различных видов кузнечно-штамповочного оборудования и автоматизированных комплексов	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Тема 11, Тема 12	Вопросы для комбинированного контроля усвоения теоретического материала, задания к практическим занятиям, задания к курсовой работе, задания к самостоятельной работе, рефераты, экзамен
		ПК-5.2. Умеет проводить расчеты технологииковки и штамповки и поиск оптимальных режимов работы кузнечно-штамповочного оборудования	<i>знать</i> требования к кузнечно-штамповочному оборудованию и критерии их качества; <i>уметь</i> решать задачи оптимального выбора кузнечно-штамповочного оборудования и автоматизированных комплексов; <i>владеть:</i> навыками разработки технических заданий на проектирование технологии изготовления поковок и штамповок	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Тема 11, Тема 12	Вопросы для комбинированного контроля усвоения теоретического материала, задания к практическим занятиям, задания к курсовой работе, задания к самостоятельной работе, рефераты, экзамен
		ПК-5.3. Владеет навыками разработки штамповой оснастки и приспособлений для операцийковки и штамповки	<i>знать</i> методы расчета механических, гидравлических и пневматических приводов, кузнечно-штамповочного оборудования, автоматизированных комплексов и средств автоматизации; <i>уметь</i> определять исходные данные для проектирования технологии изготовления поковок и штамповок; <i>владеть:</i> навыками собора и анализа технической информации по основному и вспомогательному оборудованию для обоснованного принятия решений по дальнейшему использованию в кузнечно-штамповочном производстве	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Тема 11, Тема 12	Вопросы для комбинированного контроля усвоения теоретического материала, задания к практическим занятиям, задания к курсовой работе, задания к самостоятельной работе, рефераты, экзамен

**Фонды оценочных средств по дисциплине
«Математическое моделирование специальных
процессов обработки давлением»**

**Вопросы для комбинированного контроля усвоения
теоретического материала (устно или письменно)**

1. Преимущества и недостатки МКЭ
2. Перечислите основные этапы численной реализации МКЭ.
3. Назовите принципы классификации конечных элементов.
4. Чем отличаются глобальная и локальная нумерация узлов элементов?
5. Как влияет глобальная нумерация узлов на ширину ленты матрицы коэффициентов системы уравнений?
6. Как выглядит двумерный симплекс-элемент?
7. В чем особенность аппроксимации векторных величин?
8. Зависят ли функции формы от расположения конечных элементов в пространстве?
9. В чем состоит принцип минимума потенциальной энергии для линейноупругой системы?
10. Как связаны глобальная и локальная матрицы жесткости?
11. Какие виды нагрузок рассматриваются при построении локальных матриц элементов?
12. Что такое температурная деформация стержня?
13. В чем отличие плоского напряженного и плоского деформированного состояния?
14. Как записывается вектор-столбец, связанный с тепловым расширением?
15. Какую размерность имеет локальная матрица для трехмерного симплекс-элемента?
16. Как связаны осесимметричный и двумерный симплекс-элементы?
17. Какие виды, нелинейности встречаются в задачах обработки металлов давлением?
18. Какие методы решения нелинейных систем алгебраических уравнений МКЭ существуют?
19. В чем причина геометрической нелинейности задач обработки металлов давлением?
20. В чем особенность решения задач для анизотропного материала?
21. В чем состоит свойство вязкости материала?
22. Какая постановка краевой задачи используется при учете вязких свойств?
23. Как задаются теплофизические свойства материала?
24. Какие матрицы элемента зависят от наличия теплообмена?
25. Как записывается матрица теплопроводности?
26. Какую размерность имеет матрица механических свойств?

27. Какие методы аппроксимации частных производных по времени в нестационарных задачах существуют?

28. Какие силы учитываются дополнительно в динамической задаче? Что характеризует матрица масс?

29. Какую постановку краевой задачи предполагает применение МГЭ? В чем различие прямого и непрямого МГЭ?

30. Что такое сингулярное решение?

31. Что является основным источником погрешности МГЭ?

32. Для чего осуществляется разбиение границы на элементы?

33. В какой форме используются уравнения равновесия?

34. Какой вид имеют сингулярные фундаментальные решения?

35. Зависит ли размерность алгебраической системы уравнений МГЭ от количества внутренних ячеек?

36. Какая процедура вносит погрешность в решение МГЭ?

37. Какое интегральное уравнение положено в основу алгоритмов МГЭ?

38. Как рассчитывается усилие деформирования?

39. Общие положения математического моделирования с использованием методом конечных элементов.

**Критерии и шкала оценивания по оценочному средству –
комбинированный контроль усвоения теоретического материала**

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
отлично (5)	Ответ дан на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.)
хорошо (4)	Ответ дан на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.)
удовлетворительно (3)	Ответ дан на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.)
неудовлетворительно (2)	Ответ дан на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.)

Задания к практическим занятиям:

1. Практическое занятие № 1. Преимущества МКЭ. Основные этапы численной реализации МКЭ. Построение разрешающей системы уравнений. Выделение конечных элементов. Принципы классификации конечных элементов. Глобальная и локальная нумерация узлов элементов.
2. Практическое занятие № 2. Виды аппроксимирующих функций. Симплекс-, комплекс- и мультиплекс-элементы. Свойства симплекс-

- элементов. Одно-, дву- и трехмерные симплекс-элементы. Аппроксимация векторных величин. Функции формы.
3. Практическое занятие № 3. Техника включения в общий ансамбль скалярных величин. Процедура объединения конечных элементов в ансамбль при аппроксимации векторных величин. Методы построения разрешающей системы уравнений. Метод Бубнова-Галёркина.
 4. Практическое занятие № 4. Методы решения задач теории упругости. Принцип минимума потенциальной энергии для линейноупругой системы. Глобальная и локальная матрицы жесткости. Виды нагрузок при построении локальных матриц элементов. Одномерная линейная упругость. Температурная деформация стержня.
 5. Практическое занятие № 5. Плоское напряженное и плоское деформированное состояния. Вектор-столбец, связанный с тепловым расширением. Локальная матрица для трехмерного симплекс-элемента. Вектор-столбец поверхностной нагрузки.
 6. Практическое занятие № 6. Осесимметричный конечный симплекс-элемент. Два вида нелинейности: физическая и геометрическая.
 7. Практическое занятие № 7. Связь между компонентами перемещений и компонентами тензора деформаций при больших деформациях. Особенности решения задач для трансверсально-изотропных и анизотропных материалов. Задача вязкопластичности.
 8. Практическое занятие № 8. Граничные условия для задачи стационарной теплопроводности. Положительный и отрицательный поток тепла. Одномерный случай переноса тепла. Двумерный случай переноса тепла. Тепловой поток и конвективный теплообмен. Трехмерный случай переноса тепла. Матрица теплопроводности. Матрица механических свойств.
 9. Практическое занятие № 9. Задача нестационарной теплопроводности. Матрица демпфирования. Динамические задачи. Методы аппроксимации частных производных по времени в нестационарных задачах. Матрица масс.
 10. Практическое занятие № 10. Общие положения метода граничных элементов. Постановка краевой задачи в виде интегральных граничных уравнений. Разновидности МГЭ. Алгоритм перехода от исходного дифференциального уравнения к интегральному. Сингулярное решение. Источники погрешностей МГЭ.
 11. Практическое занятие № 11. Дискретизация границы области. Получение матрицы коэффициентов. Составление разрешающей системы уравнений. Определение неизвестных фиктивных источников.
 12. Практическое занятие № 12. Основные уравнения и фундаментальные сингулярные решения. Непрямой метод граничных элементов. Решение уравнений равновесия. Размерность алгебраической системы уравнений МГЭ. Прямой метод граничных элементов. Использование теоремы взаимности.

**Критерии и шкала оценивания по оценочному средству –
задания по практическим занятиям**

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
отлично (5)	Задание выполнено на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.)
хорошо (4)	Задание выполнено на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.)
удовлетворительно (3)	Задание выполнено на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.)
неудовлетворительно (2)	Задание выполнено на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.)

Темы рефератов:

1. Общие положения математического моделирования методом конечных элементов.
2. Математический аппарат моделирования МКЭ.
3. Тензоры конечных деформаций.
4. Тензор малых деформаций.
5. Краевая задача в МКЭ.
6. Упруго-вязкие среды.
7. Пластические среды.
8. Построение конечно-элементной сетки МКЭ.
9. Разностная схема краевой задачи МКЭ.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству – реферат

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
отлично (5)	Реферат представлен на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.). Оформлен в соответствии с требованиями, предъявляемыми к данному виду работ.
хорошо (4)	Реферат представлен на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.). В оформлении допущены некоторые неточности в соответствии с требованиями, предъявляемыми к данному виду работ.
удовлетворительно (3)	Реферат представлен на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.). В оформлении допущены ошибки в

	соответствии с требованиями, предъявляемыми к данному виду работ.
неудовлетворительно (2)	Реферат представлен на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.)

Вопросы к экзамену:

1. Общие положения математического моделирования с использованием методом конечных элементов.
2. Преимущества и недостатки МКЭ
3. Перечислите основные этапы численной реализации МКЭ.
4. Назовите принципы классификации конечных элементов.
5. Чем отличаются глобальная и локальная нумерация узлов элементов?
6. Как влияет глобальная нумерация узлов на ширину ленты матрицы коэффициентов системы уравнений?
7. Какой порядок полинома имеют симплекс-элементы?
8. Как выглядит двумерный симплекс-элемент?
9. В чем особенность аппроксимации векторных величин?
10. Зависят ли функции формы от расположения конечных элементов в пространстве?
11. В чем состоит принцип минимума потенциальной энергии для линейноупругой системы?
12. Как связаны глобальная и локальная матрицы жесткости?
13. Какие виды нагрузок рассматриваются при построении локальных матриц элементов?
14. Как записываются локальные матрицы жесткости и нагрузки в одномерной задаче?
15. Что такое температурная деформация стержня?
16. В чем отличие плоского напряженного и плоского деформированного состояния?
17. Как записывается вектор-столбец, связанный с тепловым расширением?
18. Какую размерность имеет локальная матрица для трехмерного симплекс-элемента?
19. От чего зависит расположение нулей в вектор-столбце поверхностной нагрузки?
20. Как связаны осесимметричный и двумерный симплекс-элементы?
21. Какие виды, нелинейности встречаются в задачах обработки металлов давлением?
22. Какие методы решения нелинейных систем алгебраических уравнений МКЭ существуют?
23. В чем причина геометрической нелинейности задач обработки металлов давлением?
24. Какие методы геометрически нелинейных задач известны?

25. Какой материал принято называть трансверсально-изотропным?
26. В чем особенность решения задач для анизотропного материала?
27. В чем состоит свойство вязкости материала?
28. Какая постановка краевой задачи используется при учете вязких свойств?
29. Сколько неизвестных определяется в каждом узле элемента?
30. Как задаются теплофизические свойства материала?
31. Какие матрицы элемента зависят от наличия теплообмена?
32. Как задаются теплофизические свойства?
33. Как записывается матрица теплопроводности?
34. Какую размерность имеет матрица механических свойств?
35. Что характеризует матрица демпфирования?
36. Какие методы аппроксимации частных производных по времени в нестационарных задачах существуют?
37. Какие силы учитываются дополнительно в динамической задаче? Что характеризует матрица масс?
38. Какую постановку краевой задачи требует применение МГЭ? В чем различие прямого и непрямого МГЭ?
39. Что такое сингулярное решение?
40. Что является основным источником погрешности МГЭ?
41. Для чего осуществляется разбиение границы на элементы?
42. Что такое матрицы влияния?
43. В какой форме используются уравнения равновесия?
44. Какой вид имеют сингулярные фундаментальные решения?
45. Зависит ли размерность алгебраической системы уравнений МГЭ от количества внутренних ячеек?
46. Какая процедура вносит погрешность в решение МГЭ?
47. Как формулируется теорема взаимности?
48. Какое интегральное уравнение положено в основу алгоритмов МГЭ?
49. Как рассчитывается усилие деформирования?
50. Как рассчитывается работа деформирования?

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству – экзамен

Национальная шкала	Характеристика знания предмета и ответов
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках,

	определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы.

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков

Дисциплина «Математическое моделирование специальных процессов обработки давлением» предусматривает практические занятия и самостоятельную работу студентов.

Текущий контроль осуществляется в процессе проведения практических занятий используя, приведенные выше способы оценивания освоения дисциплины по усмотрению преподавателя и в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины.

Промежуточный контроль осуществляется в соответствии с графиком учебного процесса.

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобренны изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)