

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ Знаменский Е.А.

«___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Направление/специальность подготовки	15.03.01 Машиностроение
Специализация/профиль/программа подготовки	Машины и технология обработки металлов давлением
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Заочная
Факультет	Е Оружие и системы вооружения
Выпускающая кафедра	Е4 Технология патронного производства и обработка металлов давлением
Кафедра-разработчик рабочей программы	Е4 Технология патронного производства и обработка металлов давлением

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
5	10	3	108	4	0	0	4	104	0	0	104	зач.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

15.03.01 Машиностроение

год набора группы: 2026

Программу составили:

Кафедра Е4 Технология патронного производства и обработка металлов давлением _____
Олехвер Алексей Иванович, к.т.н., доцент, доцент

Кафедра Е4 Технология патронного производства и обработка металлов давлением _____
Нестеров Николай Иванович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой

Программа рассмотрена
на заседании кафедры-разработчика
рабочей программы **Е4 Технология патронного производства и обработка металлов давлением**

Заведующий кафедрой Нестеров Н.И., к.т.н., доц. _____

Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

Е4 Технология патронного производства и обработка металлов давлением

Заведующий кафедрой Нестеров Н.И., к.т.н., доц. _____

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ
ДАВЛЕНИЕМ**

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1.2 — Способен определять напряженно-деформированное состояние заготовки в процессе ее пластического деформирования

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПК-1.2

знания:

Законы течения, критерии пластичности, уравнения состояния, аналитические и численные методы определения напряженно-деформированного состояния;

умения:

Проводить анализ и определять характер нагружения и условия пластического течения материала, выполнять расчеты и определять компоненты тензора напряжений и деформаций, применять специализированные программы для моделирования процессов;

навыки:

Работа с системами конечно-элементного анализа и создание расчетных моделей, настройка параметров расчета, визуализация результатов..

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *15.03.01 Машиностроение*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ТЕОРИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ, ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ПК-1.1 — Способен разрабатывать новые технологические процессы листовой и объемной холодной штамповки,ковки, горячей штамповки
- ПК-1.2 — Способен определять напряженно-деформированное состояние заготовки в процессе ее пластического деформирования

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме		Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Практические занятия		ПК-1.2
5	10	Раздел 1. Общее представление о численных методах и основы моделирования методом конечных элементов. 1.1 Основные понятия численного моделирования 1.2 Базовые основы работы в программных специализированных комплексах 1.3 Общее представление о методе конечных элементов 1.4 Классы решаемых задач и виды анализа 1.5 Геометрическое моделирование и построение конечно-элементной сетки 1.6 Задание граничных условий 1.7 Задание характеристик материала. 1.8 Постпроцессинг и анализ напряжённо-деформированного состояния.	54	2	2	52	50
5	10	Раздел 2. Основы моделирования методом конечных элементов и моделирование процессов обработки металлов давлением. 2.1 Общее представление о механике разрушения 2.2 Моделирование процесса гибки листового материала 2.3 Моделирование процесса осадки цилиндрической заготовки 2.4 Моделирование процесса вытяжки без утонения 2.5 Моделирование процесса обжима.	54	2	2	52	50
Всего за 10 семестр			108	4	4	104	100
Всего по дисциплине			108	4	4	104	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Общее представление о численных методах и основы моделирования методом конечных элементов.	Рассмотрение вариантов и порядка выполнения поставленных заданий по основной и вспомогательной литературе	2
2	Раздел 2. Основы моделирования методом конечных элементов и моделирование процессов обработки металлов давлением.	Рассмотрение вариантов и порядка выполнения поставленных заданий по основной и вспомогательной литературе	2
Всего за 10 семестр			4

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Общее представление о численных методах и основы моделирования методом конечных элементов.	Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе и выполнение заданий	52
2	Раздел 2. Основы моделирования методом конечных элементов и моделирование процессов обработки металлов давлением.	Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе и выполнение заданий	52
Всего за 10 семестр			104

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- отчет по практическому заданию.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- зачет.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. . ANSYS для инженеров. М.: Машиностроение-1, 2004, эл. рес.
2. А. С. Павлов. . Решение задач механики деформируемого твёрдого тела в программе ANSYS. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020, 42 экз.
3. Е. В. Брытков. . Численное моделирование прочностных задач в среде ANSYS. СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022, эл. рес.
4. К. А. Басов. . Графический интерфейс комплекса ANSYS. М.: ДМК Пресс, 2006, эл. рес.
5. Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17. М.: ДМК Пресс, 2017, эл. рес.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. . ANSYS в руках инженера. М.: УРСС, 2003, 1 экз.

5.3. Периодические издания:

не требуются.

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://e.lanbook.com/book/261953> — ЭБС Лань;
2. <https://e.lanbook.com/book/191900> — ЭБС Лань;
3. <https://e.lanbook.com/book/118128> — ЭБС Лань.

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/> - КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

1. ANSYS 2020 R2.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Практические занятия:

1. Проектор;
2. Интерактивная доска;
3. ANSYS 2020 R2.

6.2. Прочее:

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *15.03.01 Машиностроение*. Дисциплина реализуется на факультете *Е Оружие и системы вооружения* БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой *Е4 Технология патронного производства и обработка металлов давлением*.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПК-1.2 Способен определять напряженно-деформированное состояние заготовки в процессе ее пластического деформирования.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с применением математического моделирования для широкого круга инженерных задач по обработке материалов с дальнейшим решением их аналитическим или численным методом.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- отчет по практическому заданию.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены практические занятия (**4 ч.**), самостоятельная работа студента (**104 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 4 ч. аудиторных занятий, и 104 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Общее представление о численных методах и основы моделирования методом конечных элементов.		
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе и выполнение заданий	<p>Е. В. Брытков. . Численное моделирование прочностных задач в среде ANSYS: СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022 (1)</p> <p>К. А. Басов. . Графический интерфейс комплекса ANSYS: М.: ДМК Пресс, 2006 (1-3)</p> <p>А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. . ANSYS в руках инженера: М.: УРСС, 2003 (1-3)</p> <p>А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. . ANSYS для инженеров: М.: Машиностроение-1, 2004 (1-3)</p> <p>С. И. Каратушин, Ю. А. Плешанова, Д. А. Храмова. . ANSYS Workbench в деталях машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (1)</p> <p>Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17: М.: ДМК Пресс, 2017 (1-3)</p>	52
Итого по разделу 1		52
Раздел 2. Основы моделирования методом конечных элементов и моделирование процессов обработки металлов давлением.		
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе и выполнение заданий	<p>А. С. Павлов. . Решение задач механики деформируемого твёрдого тела в программе ANSYS: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020 (1-4)</p> <p>С. И. Каратушин, Ю. А. Плешанова, Д. А. Храмова. . ANSYS Workbench в деталях машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (4)</p> <p>Е. В. Брытков. . Численное моделирование прочностных задач в среде ANSYS: СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022 (4)</p>	52
Итого по разделу 2		52

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- отчет по практическому заданию;
- вопросы для текущего контроля;
- зачет.

Критерии оценивания

Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

Отчет по практическому заданию

Практическое задание следует считать полностью выполненным, если построена конечно-элементная модель (построена конечно-элементная сетка, заданы граничные условия и параметры решения), выполнен её расчёт с выводом необходимых результатов (в зависимости от варианта задания: напряженно-деформированное состояние, реализующиеся усилия/реакции, деформации), выполнен отчёт с описанием конечно-элементной модели, анализом полученных результатов и сопоставлением с аналитическим решением (численно-аналитическим решением, результатом эксперимента и т.п).

Вопросы для текущего контроля

Вопросы для текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы разрабатываются (обновляются) ежегодно в соответствии с материалами, изученными обучающимися.

Зачет

По каждому контрольному мероприятию обучающий (три диагностических работы, практическое задание и учет посещаемости занятий) обучающийся набирает баллы в соответствии технологической картой дисциплины. Минимальное количество баллов и количество баллов, необходимое для получения оценки "зачтено", устанавливается нормативным актом по университету.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме		Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Практические занятия		ПК-1.2	
5	10	Раздел 1. Общее представление о численных методах и основы моделирования методом конечных элементов.	54	2	2	52	50	Отчет по практическому заданию, Вопросы для текущего контроля
5	10	Раздел 2. Основы моделирования методом конечных элементов и моделирование процессов обработки металлов давлением.	54	2	2	52	50	Отчет по практическому заданию, Вопросы для текущего контроля
Всего за 10 семестр			108	4	4	104	100	
Всего по дисциплине			108	4	4	104	100	

Оценочные материалы по дисциплине МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

ПК-1.2 - Способен определять напряженно-деформированное состояние заготовки в процессе ее пластического деформирования

- № 1 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Какие параметры напряженного состояния являются необходимы для оценки коэффициента жесткости напряженного состояния:
- 1- главные напряжения
- 2- главные деформации
- 3- модуль Юнга
- 4- плотность материала полуфабриката
- № 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
Какие методы экспериментального исследования необходимо применить для верификации свойств материала и последующей математической модели процесса деформации и анализа НДС?
- № 3 Прочитайте текст и установите соответствие
Установите соответствие между этапами математического моделирования процессов обработки металлов давлением и методами анализа.

К каждой позиции в левом столбце, подберите позицию из правого столбца.

1.	Метод конечных элементов	Формулировка А. математической модели
2.	Теоретический анализ напряженно-деформированного состояния	Выбор метода Б. численного решения
3.	Статистическая обработка экспериментальных данных	Реализация В. вычислительного алгоритма
4.	Метод конечных разностей	Анализ Г. результатов моделирования
5.	Анализ чувствительности модели	

- № 4 Прочитайте текст и установите соответствие
Установите соответствие между методами математического анализа и моделирования и их применением в проектировании патронов и гильз.

К каждой позиции в левом столбце, подберите позицию из правого столбца.

1.	Метод конечных элементов	Расчет деформационных А. характеристик металла при вытяжке гильзы
2.	Численное моделирование течения металла	Б. • Оптимизация параметров инструмента для формирования геометрической

3.	Системное проектирование изделий	В. Прогнозирование качества поверхности изделия
4.	Теория пластичности	Г. Моделирование процесса раздачи
5.		Д. Расчет напряженно-деформированного состояния материала

№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите правильную последовательность этапов математического моделирования процесса изготовления гильзы.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо без пробелов и точек.

- 1.Формулировка математической модели.
- 2.Проведение физического эксперимента.
- 3.Построение конечно-элементной сетки.
- 4.Выбор метода решения уравнений пластичности.
- 5.Анализ результатов моделирования.
- 6.Постановка технологической задачи.

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите правильную последовательность исследования распределения НДС на поверхности изгибаемого образца:

1. Измерение деформации делительной сетки
2. Подготовка поверхности образца
3. Нанесение делительной сетки методом лазерной гравировки или иными
4. Анализ и построение зависимостей распределения параметров НДС на исследуемой поверхности

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Как называется метод моделирования, в котором детали создаются и редактируются на уровне сборки (в среде сборки)?

Запишите номер выбранного ответа без точки и обоснование выбора.

1. сверху-вниз.
2. снизу-вверх.
3. феноменологический.
4. концептуальный.

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какие программные решения относятся к отечественным САЕ системам со специализацией на пластическом деформировании?

Запишите номера выбранных ответов без пробелов и точек и обоснование выбора.

1. КОМПАС-3D

2. SolidWorks

3. ANSYS

4. QForm

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие программные решения относятся к CAD системам?

Запишите номера выбранных ответов без пробелов и точек и обоснование выбора.

1. КОМПАС-3D

2. SolidWorks

3. ANSYS

4. QForm

№ 10 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

В процессе изготовления полуфабриката применяются разные способы обработки металла давлением. Один из них — это горячая штамповка, когда металл нагревают до высокой температуры. Почему при горячей штамповке металл становится более пластичным и легче деформируется?

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

При математическом моделировании процесса пластической деформации детали необходимо учесть следующие параметры. Выберите два наиболее значимых параметра из списка:

1. Температура рабочего инструмента.

2. Скорость деформации на операции.

3. Прочность материала детали.

4. Влажность воздуха в цехе.

5. Цвет заготовки.

Запишите номера выбранных ответов без пробелов и точек и обоснование выбора.

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

При проведении эксперимента по определению предела текучести материала получены разброс результатов и низкая воспроизводимость измерений. Какие два из перечисленных факторов является наиболее вероятной причиной данного явления?

Запишите номера выбранных ответов (2-ух) без пробелов и точек и обоснование выбора

1. Нестабильность температуры образцов.

2. Колебания скорости деформации при испытаниях.

3. Несоответствие геометрии образцов стандарту.

4. Нестабильность температуры в помещении лаборатории.