Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 29.09.2023 16:02:20
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет машиностроения

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета машиностроения
/Сафонов Е.В./
«__» _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Технологический инжиниринг с применением CAE-систем»

Направление подготовки
15.03.01 Машиностроение

Образовательная программа (профиль подготовки)
«Комплексные технологические процессы и оборудование машиностроения»

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очно-заочная

Москва, 2022 г.

Разработчик:

Профессор, д.н.  /М.А. Петров /

Согласовано:

Заведующий кафедрой
«Обработка материалов давлением
и аддитивные технологии  /П.А. Петров /

Заведующий кафедрой «ТиОМ»,
к.т.н., доцент  /А.Н. Васильев/

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4
3. Структура и содержание дисциплины 5
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 9
5. Материально-техническое обеспечение 10
6. Методические рекомендации 11
7. Фонд оценочных средств 11

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целями освоения дисциплины «**Технологический инжиниринг с применением CAE-систем**» являются:

- подготовка студента к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой по направлению;
- формирование общеинженерных знаний и умений по данному направлению;
- изучение основных математических методов применяющихся при моделировании процессов ОМД;
- получение навыков по постановке задачи для моделирования процессов ОМД и анализу результатов моделирования

Следует отметить, что изучение курса « Технологический инжиниринг с применением CAE-систем» способствует расширению научного кругозора и дает тот минимум фундаментальных знаний, на базе которых сформируется представление о математических моделях течения материалов и их применении при моделировании в CAE программах.

Обучение по дисциплине «Технологический инжиниринг с применением CAE-систем» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен разрабатывать технологические процессы изготовления машиностроительных изделий средней сложности серийного (массового) производства	ИПК-3.14. Анализ реализации технологических процессов изготовления машиностроительных изделий средней сложности серийного (массового) производства с целью проверки обеспечения заданных технических требований ИПК-2.9. Выявлять основные технологические задачи, решаемые при разработке технологических процессов изготовления машиностроительных изделий средней сложности серийного (массового) производства ИПК-2.23. Использовать CAD системы, CAPP системы для редактирования типовых технологических процессов и технологических процессов – аналогов машиностроительных изделий средней сложности серийного (массового) производства ИПК 1.26. CAD-системы: наименования, возможности и порядок работы в них

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (Б 1.2) Блока 1 «Элективные дисциплины» ООП. Дисциплина логически взаимосвязана со следующими дисциплинами и практиками ООП:

Основы аддитивных технологий;
Основы технологий плавки литейных сплавов.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных(е) единиц(ы) (216 часов).
Изучается на 7, 8, 9 семестрах обучения. Форма промежуточной аттестации: 7 семестр-зачеты, 8, 9 семестр-экзамены.

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

3.1.1.Очно-заочная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры		
			7 семестр	8 семестр	9 семестр
1	**Аудиторные занятия**	**84**	26	32	26
	В том числе:				
1.1	Лекции	40	12	16	12
1.2	Семинарские/практические занятия				
1.3	Лабораторные занятия	44	14	16	14
2	**Самостоятельная работа**	**132**	44	44	44
	В том числе:				
2.1	Подготовка и защита лабораторных работ				
2.2	Самостоятельное изучение	**132**	44	44	44
3	**Промежуточная аттестация**				
	Зачет/диф.зачет/экзамен		зачет	экзамен	экзамен
	Итого	**216**	70	76	70

3.2 Тематический план изучения дисциплины

3.2.1. Очно-заочная форма обучения

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1	Краевая задача. Дифференциальные уравнения описывающие процессы теплопроводности и пластического деформирования. Постановка краевой задачи в перемещениях. Постановка краевой задачи в скоростях. Краевые условия при решении задач теплопроводности. Краевые условия при решении задач пластичности. Численные методы решения краевых задач.		5		5		16
2	Метод конечных разностей. Сеточная дискретизация расчётной области. Конечно-разностая аппроксимация производных. Интерполяция граничных условий. Построение системы разностных уравнений. Решение задачи прессования полосы методом конечных разностей.		5		6		16
3	Метод конечных элементов. Общие положения метода конечных элементов. Дискретизация расчётной области при решении задач методом конечных элементов. Симплекс-элементы. Аппроксимация функций и функции формы для скалярных величин. Аппроксимация функций и функции формы для векторных величин. Объединение конечных элементов в ансамбль для четырёхэлементной области для скалярных и векторных величин. Решение задачи теплопроводности стержня методом конечных элементов.		5		5		16
4	Постановка задачи моделирования в программных комплексах QForm и/или Abaqus. Базы данных материалов, смазок и оборудования. Подготовка геометрии для моделирования. Создание конечно-		5		6		16

	элементной сетки. Задание начальных и граничных условий. Лабораторные работы по постановке задач простейших задач пластического деформирования.						
5	Моделирование процессов теплопроводности в программных комплексах QForm и/или Abaqus. Постановка задачи для моделирования процессов теплопроводности в программе QForm. Постановка задачи для моделирования процессов теплопроводности в программе Abaqus. Лабораторные работы по моделированию тепловых процессов.		5		5		16
6	Моделирование процессов ОМД в программных комплексах QForm и/или Abaqus. Постановка задачи для моделирования технологических процессов объёмной штамповки в программе QForm. Постановка задачи для моделирования технологических процессов объёмной штамповки в программе Abaqus. Моделирование процессов облойной штамповки. Моделирование процессов штамповки в закрытых штампах. Моделирование процессов изотермической штамповки. Лабораторные работы по моделированию задач объёмной штамповки.		5		6		20
7	Моделирование процессов листовой штамповки в программах QForm и/или Abaqus. Постановка задачи для моделирования технологических процессов вакуумной формовки в программе QForm. Постановка задачи для моделирования технологических процессов листовой штамповки в штампах в программе Abaqus: штамповка в		5		5		16

	штампах с прижимом и без, штамповка эластичной средой, штамповка в осесимметричной и трёхмерной постановке. Лабораторные работы по моделированию задач листовой штамповки.						
8	Анализ результатов моделирования в программных комплексах QForm и/или Abaqus. График силы деформации. Поле скоростей. Температурное поле. Распределение напряжений и накопленной деформации. Трассируемые точки. Контактные напряжения. Влияние температуры штамповки и технологической смазки на характер течения материала и силу деформации. Лабораторные работы по выводу результатов, его анализу и экспорту в другие форматы.		5		6		16
	ИТОГО		40		44		132

3.3 Содержание дисциплины

1) Краевая задача. Дифференциальные уравнения описывающие процессы теплопроводности и пластического деформирования. Постановка краевой задачи в перемещениях. Постановка краевой задачи в скоростях. Краевые условия при решении задач теплопроводности. Краевые условия при решении задач пластичности. Численные методы решения краевых задач.

2) Метод конечных разностей**.** Сеточная дискретизация расчётной области. Конечно-разностая аппроксимация производных. Интерполяция граничных условий. Построение системы разностных уравнений. Решение задачи прессования полосы методом конечных разностей.

3) Метод конечных элементов**.** Общие положения метода конечных элементов. Дискретизация расчётной области при решении задач методом конечных элементов. Симплекс-элементы. Аппроксимация функций и функции формы для скалярных величин. Аппроксимация функций и функции формы для векторных величин. Объединение конечных элементов в ансамбль для четырёхэлементной области для скалярных и векторных величин. Решение задачи теплопроводности стержня методом конечных элементов.

4) Постановка задачи моделирования в программных комплексах QForm и/или Abaqus. Базы данных материалов, смазок и оборудования. Подготовка геометрии для моделирования. Создание конечно-элементной сетки. Задание начальных и граничных условий. Лабораторные работы по постановке задач простейших задач пластического деформирования.

5) Моделирование процессов теплопроводности в программных комплексах QForm и/или Abaqus. Постановка задачи для моделирования процессов теплопроводности в программе QForm. Постановка задачи для моделирования процессов теплопроводности в программе Abaqus. Лабораторные работы по моделированию тепловых процессов.

6) Моделирование процессов ОМД в программных комплексах QForm и/или Abaqus. Постановка задачи для моделирования технологических процессов объёмной штамповки в программе QForm. Постановка задачи для моделирования технологических процессов объёмной штамповки в программе Abaqus. Моделирование процессов облойной штамповки. Моделирование процессов штамповки в закрытых штампах. Моделирование процессов изотермической штамповки. Лабораторные работы по моделированию задач объёмной.

7) Моделирование процессов листовой штамповки в программах QForm и/или Abaqus. Постановка задачи для моделирования технологических процессов вакуумной формовки в программе QForm. Постановка задачи для моделирования технологических процессов листовой штамповки в штампах в программе Abaqus: штамповка в штампах с прижимом и без, штамповка эластичной средой, штамповка в осесимметричной и трёхмерной постановке. Лабораторные работы по моделированию задач листовой штамповки.

8) Анализ результатов моделирования в программных комплексах QForm и/или Abaqus. График силы деформации. Поле скоростей. Температурное поле. Распределение напряжений и накопленной деформации. Трассируемые точки. Контактные напряжения. Влияние температуры штамповки и технологической смазки на характер течения материала и силу деформации. Лабораторные работы по выводу результатов, его анализу и экспорту в другие форматы.

3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Моделирование тепловых процессов.
Моделирование задач объёмной штамповки.
Моделирование задач листовой штамповки.
Моделирование результатов, его анализ и экспорт в другие форматы.

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

Не предусмотрены

4.2 Основная литература

1. Голенков В.А. и др. Теория обработки металлов давлением. Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2013.

2. Калпин Ю.Г. и др. Сопротивление деформации и пластичность металлов при обработке давлением. Учебное пособие. М.: Машиностроение, 2011.

4.2.1 Дополнительная литература

1. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977.

4.2.2 Электронные образовательные ресурсы

1. Платформа цифрового образования Мосполитеха (СДО-LMS):

https://online.mospolytech.ru/local/crw/course.php?id=8408

2. - «Библиотека. Электронные ресурсы» http://lib.mospolytech.ru/lib/content/elektronnyy-katalog
3. - «Библиотека. Электронно-библиотечные системы» http://lib.mospolytech.ru/lib/ebs
4. - ЭБС «ЛАНЬ». Коллекция «Инженерно-технические науки» (http://e.lanbook.com);
5. - БД полных текстов национальных стандартов (ГОСТ, СНиП, РД, РДС и др.) «Техэксперт» (http://www.kodeks.ru);
6. - научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (http://elibrary.ru);
7. - ЭБС «Университетская библиотека онлайн (www.biblioclub.ru);
8. - ЭБС «ZNANIUM.COM» (www.znanium.com);
9. - ЭБС «ЮРАЙТ» (www.biblio-online.ru);
10. - Реферативная наукометрическая электронная база данных «Scopus» (http://www/scopus.com);
11. - База данных «Knovel» (http://www.knovel.com)

4.3 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Операционная система, Windows 7 (или ниже) - Microsoft Open License Лицензия № 61984214, 61984216,61984217, 61984219, 61984213, 61984218, 61984215

Офисные приложения, Microsoft Office 2013 (или ниже) - Microsoft Open License Лицензия № 61984042 Антивирусное ПО, Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Стандартный Лицензии № 1752161117060156960164

Специализированные программы: T-Flex, Inventor, Q-Form, Abaqus, Ansys.

4.4 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. СПС «КонсультантПлюс: Некоммерческая интернет-версия». - URL: http://www.consultant.ru/online/ (дата обращения: 16.02.2023). – Режим доступа: свободный.

5. Материально-техническое обеспечение

1. Аудитория для проведения практических занятий.
2. Интерактивная доска.
3. Компьютерный класс с выходом в Интернет.
4. Аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.
5. Аудитория для самостоятельной работы.
6. Библиотека, читальный зал.

6. Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Теоретическое изучение основных вопросов разделов дисциплины должно завершаться практическим занятием.
Для активизации учебного процесса при изучении дисциплины эффективно применение презентаций по различным темам лекций и практических занятий.
Для проведения занятий по дисциплине используются средства обучения:
- учебники и учебные пособия, информационные ресурсы Интернета;
- справочные материалы и нормативно-техническая документация;
- разработанные презентации по различным разделам курса;
- видеоматериалы для закрепления полученной на лекциях информации;
- использование в лекциях информации из журналов: Технология металлов; Вестник машиностроения; Наукоемкие технологии; Заготовительное производство.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа является одним из видов учебных занятий. Цель самостоятельной работы – практическое усвоение студентами вопросов, связанных с промышленными технологиями и инновациями.
Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.
Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия

Задачи самостоятельной работы студента:

- развитие навыков самостоятельной учебной работы;
- освоение содержания дисциплины;
- углубление содержания и осознание основных понятий дисциплины;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий для эффективной подготовки к зачету.

Виды внеаудиторной самостоятельной работы:

- самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины;
- подготовка к лекционным занятиям;
- выполнение домашних заданий по закреплению тем;
- выполнение домашних заданий по решению типичных задач и упражнений;
- составление и оформление докладов по отдельным темам программы;
- научно-исследовательская работа студентов;
- участие в тематических дискуссиях, олимпиадах.

Для выполнения любого вида самостоятельной работы необходимо пройти следующие этапы:
- определение цели самостоятельной работы;
- конкретизация познавательной задачи;
- самооценка готовности к самостоятельной работе;
- выбор адекватного способа действия, ведущего к решению задачи;
- планирование работы (самостоятельной или с помощью преподавателя) над заданием;
-осуществление в процессе выполнения самостоятельной работы самоконтроля (промежуточного и конечного) результатов работы и корректировка выполнения работы;
- рефлексия;

- презентация работы.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции	Методы контроля и оценивания
ПК-1 Способен разрабатывать технологические процессы изготовления машиностроительных изделий средней сложности серийного (массового) производства	ИПК-3.14. Анализ реализации технологических процессов изготовления машиностроительных изделий средней сложности серийного (массового) производства с целью проверки обеспечения заданных технических требований ИПК-2.9. Выявлять основные технологические задачи, решаемые при разработке технологических процессов изготовления машиностроительных изделий средней сложности серийного (массового) производства ИПК-2.23. Использовать CAD системы, CAPP системы для редактирования типовых технологических процессов и технологических процессов – аналогов машиностроительных изделий средней сложности серийного (массового) производства ИПК 1.26. CAD-системы: наименования, возможности и порядок работы в них	Промежуточная аттестация: зачет Текущий контроль: Защита лабораторных работ; - промежуточная аттестация

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

7.2.1. Критерии оценки ответа на зачете

Форма промежуточной аттестации: зачёт.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачёта проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено».

Обязательными условиями подготовки студента к промежуточной аттестации является выполнение студентом всех видов учебной работы, предусмотренных рабочей программой по дисциплине «Основы компьютерного параметрического инжиниринга (3D)» (выполнили и защитили лабораторные работы).

Шкала оценивания	Описание
Зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой дисциплины. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных рабочей программой дисциплины. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена по результатам выполнения всех видов учебной работы предусмотренных данной рабочей программой. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине проводится преподавателем, ведущим занятия методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Обязательными условиями подготовки студента к промежуточной аттестации является выполнение студентом и защита лабораторных работ по дисциплине.

Шкала оценивания	Описание
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
Хорошо	Выполнены все обязательные условия подготовки студента к промежуточной аттестации, предусмотренные

	программой дисциплины. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, но допускаются незначительные ошибки, неточности, а также затруднения при аналитических операциях.
Удовлетворительно	Выполнены все обязательные условия подготовки студента к промежуточной аттестации, предусмотренные программой дисциплины. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, но допускаются ошибки, не позволяющие верно интерпретировать результаты и проводить их анализ, а также при оперировании знаниями переносить их на новые ситуации.
Неудовлетворительно	Не выполнены обязательные условия подготовки студента к промежуточной аттестации, предусмотренные программой дисциплины, и (или) обучающийся проявляет отсутствие знаний, умений.

7.3. Оценочные средства

7.3.1. Вопросы для промежуточной аттестации

Программы CAE в ОМД (обзор)
Модели материалов по Гуку, Ньютону, Бингаму.
Простое (идеальное поведение материала) и сложное: причины неидеального поведения деформируемой среды.
МКЭ основные положения
Краевая задача.
Постановка краевой задачи в перемещениях.
Постановка краевой задачи в скоростях.
Метод конечных разностей.
СетОчно-заочная дискретизация расчётной области.
Конечно-разностая аппроксимация производных.
Напряжение при однородной деформации.
Постановка задачи моделирования в программных комплексах QForm и/или Abaqus.
Базы данных материалов, смазок и оборудования.
Подготовка геометрии для моделирования.
Создание конечно-элементной сетки.
Гипотеза "Единой кривой".
Пропорциональность напряжений и вызывающих их деформаций; напряжений и вызывающих их скоростей деформаций.
Феноменологические модели учитывающие упрочнение и разупрочнение
Зависимость напряжений от температуры.

Постановка задачи для моделирования технологических процессов объёмной штамповки в программе QForm.
Постановка задачи для моделирования технологических процессов объёмной штамповки в программе Abaqus.
Моделирование процессов изотермической штамповки.
Постановка задачи для моделирования технологических процессов листовой штамповки в штампах в программе Abaqus
Анализ результатов моделирования в программных комплексах QForm и/или Abaqus.
Построение графика силы деформации.
Поле скоростей – физический смысл, цель вывода.
Температурное поле – цель вывода.
Распределение напряжений и накопленной деформации – цель вывода
Влияние температуры штамповки и технологической смазки на характер течения материала и силу деформации.
Контактные напряжения.
Трассируемые точки – способы вывода, цель вывода.

7.3.2 Темы лабораторных работ

Лабораторные работы по постановке задач простейших задач пластического деформирования.
Лабораторные работы по моделированию тепловых процессов.
Лабораторные работы по моделированию задач объёмной штамповки.
Лабораторные работы по моделированию задач листовой штамповки.
Лабораторные работы по выводу результатов, его анализу и экспорту в другие форматы.

7.3.3 Пример билета для проведения экзамена

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет Машиностроения, кафедра «ОМДиАТ»
Дисциплина «Технологический инжиниринг с применением CAE-систем»
Образовательная программа 15.03.01 Машиностроение, ОП «КТПиОМ»
Курс ___ , семестр ___

БИЛЕТ №____

1. Модели материалов в CAE программах.
2. Инструментарий Abaqus для анализа напряжённого состояния.

Утверждено на заседании кафедры «____» _____ 2023 г., протокол №__.

Зав. кафедрой _____ /П.А.Петров/

Билет для проведения экзамена - средство проверки знаний, умений, навыков; включает в себя 2 вопроса, соответствующих изучаемым разделам дисциплины **«Технологический инжиниринг с применением CAE-систем»**. Каждое задание билета оценивается отдельно. Общей оценкой является среднее значение, округлённое до целого значения.

Процедура применения: Случайная выборка из 30 билетов, время на подготовку до 30 мин. Устный ответ.