ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий выпускающей кафедрой

Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Тараненко П. А.
Пользователь: taranenkopa
Дата подписания: 12.06.2024

П. А. Тараненко

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.М0.06 Оптимальное проектирование
для направления 15.04.03 Прикладная механика
уровень Магистратура
магистерская программа Компьютерное моделирование высокотехнологичных конструкций
форма обучения очная
кафедра-разработчик Техническая механика

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.04.03 Прикладная механика, утверждённым приказом Минобрнауки от 09.08.2021 № 731

Зав.кафедрой разработчика,
к.техн.н., доц.

Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Тараненко П. А.
Пользователь: taranenkopa
Дата подписания: 12.06.2024

П. А. Тараненко

Разработчик программы,
к.техн.н., доцент

Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Терешин Д. А.
Пользователь: tereshinda
Дата подписания: 12.06.2024

Д. А. Терешин

Челябинск

1. Цели и задачи дисциплины

Цель — изучение современных методов оптимального проектирования материалов и элементов конструкций для использования полученных знаний в практической инженерной деятельности: при проектировании машин и оборудования, увеличения их надежности, долговечности и функциональных возможностей, минимизации затрат на создание и эксплуатацию. Задачи: - изучение аналитических методов оптимизации; - изучение численных методов оптимизации и их программных реализаций; - освоение практического применения методов для обеспечения прочности, надежности и долговечности элементов конструкций.

Краткое содержание дисциплины

Изучение дисциплины направлено на формирование навыков постановки задач проектирования конструкций как математической задачи оптимизации и применения методов поиска экстремума к задачам, возникающим в техническом проектировании. Внедрение в проектирование элемента целенаправленности позволяет существенно сократить затраты времени и получить экономически эффективное решение, которое в ряде случаев не может быть получено интуитивными методами. Основу методов составляют подходы математического программирования в выпуклых и невыпуклых задачах, подходы оптимального управления и теории многокритериальной оптимизации. В дисциплине изучаются: критерии оптимизации в задачах механики конструкций и машин, формулировка целевых функций и ограничений, одно- и многокритериальные задачи; типы оптимизации элементов конструкций (параметрическая, топологическая, оптимизация формы); эффективные аналитические и численные методы решения задачи оптимизации, в том числе, используемые совестно с методом конечных элементов.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-4 Способен выполнять научные исследования в области прикладной механики для различных отраслей промышленности, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня)	Знает: критерии оптимизации в задачах механики конструкций и машин; методы оптимизации: векторную параметрическую оптимизацию, топологическую оптимизацию (оптимизацию формы конструкций); эффективные аналитические и численные методы решения задачи оптимизации, включая конечно-элементный подход Умеет: задавать и формулировать целевую функцию, показатели качества; параметры проектирования; основные типы ограничений; осваивать современное ПО для анализа и оптимизации инженерных конструкций Имеет практический опыт: работы с методами решения задачи оптимизации с использованием эффективных вычислительных алгоритмов
ПК-5 Способен консультировать инженеров-расчетчиков, конструкторов, технологов и других	Знает: методы оптимизации, реализованные в современных CAD/CAE системах

работников промышленных и научно-производственных фирм по современным достижениям прикладной механики, по вопросам внедрения наукоемких компьютерных технологий (CAD/CAE-систем)	Умеет: использовать в инженерной практике технологии оптимизации, реализованные в современных CAD/CAE системах Имеет практический опыт: с технологиями и алгоритмами, используемыми на этапе оптимизации проектируемого изделия

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Предельные неупругие состояния конструкций, Цифровые двойники динамических систем, Теория надежности, Надежность технических систем, Цифровое производство, Конструкционная прочность и механика разрушения	Компьютерное моделирование в Ansys Workbench, Численное моделирование разрушения, Производственная практика (преддипломная) (4 семестр)

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Цифровые двойники динамических систем	Знает: основные расчетные и экспериментальные методы исследования динамических свойств изделий, критерии подтверждения (проверки) адекватности создаваемой модальной математической модели Умеет: определять динамические свойства изделий при виброиспытаниях и экспериментальном модальном анализе, создавать математическую модель динамической системы, верифицированную результатами модальных испытаний Имеет практический опыт: современной аппаратурой и программным обеспечением для проведения и обработки результатов модальных и вибропрочностных испытаний, методами корректировки (уточнения) расчетной модальной математической модели по экспериментальным данным
Цифровое производство	Знает: методики разработки проектов перспективных изделий; принципы использования современного программного обеспечения, основную терминологию курса (инжиниринг, проектирование, прототипирование, промышленный дизайн, 3D печать, аддитивное производство, цифровое производство т.п.); программное обеспечение для 3D моделирования; технические средства современного цифрового производства, этапы проектно-конструкторской подготовки производства деталей машин; методологию создания 3D-моделей в программных системах

	компьютерного проектирования Умеет: определять целевые этапы, основные направления работ; выбирать оптимальный набор потребительских, технических, технологических и экономических показателей новых изделий; составлять техническую документацию на проекты, их элементы и сборочные единицы, планировать реализацию проекта с использованием современных средств цифрового моделирования и производства, этапы проектно-конструкторской подготовки производства деталей машин; методологию создания 3D-моделей в программных системах компьютерного проектирования Имеет практический опыт: выбора технологии проектирования, конструирования и создания составных частей изделий , в том числе на основе цифрового моделирования; разработки проектов перспективных изделий, техническими средствами современного цифрового производства (3D принтер, 3D сканер, лазерный резак), работы с программным обеспечением для 3D моделирования и 3D печати
Надежность технических систем	Знает: классификацию и основные виды испытаний на надежность; методы ускоренных испытаний, основные понятия и определения теории надежности; методы моделирования состояния сложных технических систем на основе марковских процессов Умеет: определять характеристики надежности по результатам испытаний партии изделий, составлять графы, описывающие состояние технической системы Имеет практический опыт: получения усталостных характеристик материалов по результатам ускоренных испытаний, расчетов вероятностей нахождения системы в различных состояниях и получения оценок характеристик надежности системы
Предельные неупругие состояния конструкций	Знает: типовые и индивидуальные предельные состояния элементов конструкций в различных отраслях промышленности, особенности поведения высоконагруженных конструкций при циклическом неупругом нагружении; экспериментальные данные о поведении материалов в соответствующих условиях; способы описания этих экспериментальных данных Умеет: строить расчетные модели, учитывающие особенности поведения конструкций при циклическом нагружении за пределами упругости, оценивать возможные типы деформирования конструкций и выбирать соответствующие экспериментальные данные о поведении материалов Имеет практический опыт: применения аналитических и/или численных (компьютерных) методов решения рассматриваемых задач, определения запасов

	прочности конструкций при повторно-переменном неупругом деформировании (по различным предельным состояниям)
Теория надежности	Знает: основы теории надежности, методы испытаний в области оценки надежности конструкции Умеет: применять теорию надежности при решении профессиональных задач, определять опытным путем характеристики надежности конструкции Имеет практический опыт: расчетов вероятности разрушения конструкции, получения из эксперимента характеристик надежности
Конструкционная прочность и механика разрушения	Знает: потребности отделов прочности, конструкторских и технологических отделов промышленных и научно-производственных фирм в части оценки прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкций; современные достижения прикладной механики и наукоемкие компьютерные технологии, способы и средства современных коммуникаций, результаты деятельности ведущих научно-производственных отечественных и зарубежных центров по профилю профессиональной деятельности, знакомиться с изданиями научно-производственного характера, материалами соответствующих научных журналов и регулярно проводимых конференций, современные подходы, в том числе, математические модели, к определению предельных состояний элементов конструкций, возникающие при однократном, повторно-переменном и длительном (при повышенной температуре) нагружении Умеет: адаптировать современные достижения прикладной механики и наукоемкие компьютерные технологии к конкретным потребностям промышленных и научно-производственных предприятий, пользоваться отечественными и зарубежными базами данных научных публикаций (Scopus, WoS, РИНЦ и др.), вести целенаправленный библиографический поиск в различных электронных библиотеках, используя современные коммуникативные технологии, предоставляемые всемирной паутиной, применять в профессиональной деятельности современные теории, физико-математические и численные методы исследования закономерностей реализации предельных состояний изделий в условиях однократного, повторно-переменного и длительного нагружения Имеет практический опыт: обучения и консультирования персонала, а также внедрения современных достижений прикладной механики и наукоемких компьютерных технологий в конкретных организациях , работы с отечественными и зарубежными базами

	данных и электронными библиотеками различного уровня, владения приемами и средствами целенаправленного библиографического поиска; составления и редактирования академических текстов технической направленности, расчетов и навыки использования пакетов прикладных программ, включая академические пакеты МКЭ,, а также новых систем компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга для оценки прочности элементов конструкций. Обладать навыками анализа, интерпретации, представления и применения полученных результатов

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч., 56,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		3
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия:	48	48
Лекции (Л)	32	32
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
Самостоятельная работа (СРС)	51,5	51,5
Подготовка к экзамену	13,5	13.5
Топологическая оптимизация конструкции	12	12
Оптимальное проектирование статически неопределимой фермы в пределах и за пределами упругости. Сравнение аналитического и численного решений.	13	13
Оптимальное проектирование многопролетной статически неопределимой рамы.	13	13
Консультации и промежуточная аттестация	8,5	8,5
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Введение	2	2	0	0
2	Запись критериев оптимальности и ограничений	6	4	2	0
3	Аналитические и численные методы в задачах без ограничений	4	2	2	0
4	Аналитические условия и методы при наличии	6	4	2	0

	ограничений				
5	Численные методы оптимизации при наличии ограничений	8	6	2	0
6	Многокритериальная оптимизация	2	2	0	0
7	Оптимизация размеров элементов конструкций	10	6	4	0
8	Оптимизация форм конструкций и топологическая оптимизация	10	6	4	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Введение. Краткий исторический обзор направлений и методов оптимального проектирования (ОП). Основные определения. Предмет и методы ОП. Структура и особенности задач ОП. Примеры формулировок задач расчета на прочность, жёсткость, устойчивость и колебания как задач оптимального проектирования.	2
2-3	2	Математическая запись критериев оптимальности и ограничений. Каноническая форма задачи оптимизации с ограничениями. Основные функционалы, используемые в техническом проектировании. Математическое программирование. Анализ монотонности функций и активности ограничений. Пример: проектирование резервуара высокого давления.	4
4	3	Аналитические и численные методы в задачах без ограничений. Методы разного порядка: наискорейшего спуска, сопряжённых направлений и сопряжённых градиентов, метод Ньютона и квази-Ньютоновы методы. Вопрос вычисления производных. Методы линейного поиска и методы доверительной области поиска. Модификации методов для решения невыпуклых задач, метод тяжёлого шарика.	2
5-6	4	Выпуклое программирование в задаче с ограничениями. Необходимое условии Куна-Таккера (КТ), условие регулярности точки и их геометрическая интерпретация. Теорема о чувствительности решения к вариации ограничения. Методы, основанные на необходимом условии КТ. Проверка достаточных условий. Критерии глобального минимума. Пример: оптимальное проектирование статически неопределимой фермы при одно- и много-параметрических воздействиях.	4
7-9	5	Численные методы оптимизации при наличии ограничений. Методы последовательной безусловной оптимизации - методы штрафных функций. Методы учёта активных ограничений: метод проекции градиента. Применение метода проекции градиента в пространстве состояний для конечно-элементной формулировки задач. Пример: оптимальное проектирование статически неопределимой фермы.	6
10	6	Понятие о многокритериальной задаче оптимизации (МЗО). Свойства отношений. Отношения предпочтения и неразличимости. Оптимальные и парето-оптимальные решения в МЗО. МЗО на конечномерных множествах оценок. Проблема сужения множества Парето. Отношение предпочтения, инвариантное относительно положительного линейного преобразования.	2
11-13	7	Оптимизация размеров элементов конструкций на примерах стержневых моделей как с использованием стандартного программного обеспечения по принципу "чёрного ящика", так и с использованием специфически адаптированных алгоритмов для решения матричной модели конструкции. Понятие о связи критериев оптимальности максимальной прочности и максимальной жёсткости. Условия максимальной прочности для упругих и	6

		неупругих систем.	
14-16	8	Понятие о фиктивной плотности материала и о черно-белом проекте. Метод SIMP в контексте конечно элементного расчета. Роль топологической оптимизации при проектировании конструкций и материалов. Оптимизация формы и топологии элементов конструкций с использованием современных прикладных CAE пакетов.	6

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	2	Математическая запись критериев оптимальности и ограничений. Каноническая форма задачи оптимизации с ограничениями. Основные функционалы, используемые в техническом проектировании. Математическое программирование. Анализ монотонности функций и активности ограничений. Пример: проектирование резервуара высокого давления.	2
2	3	Аналитические и численные методы в задачах без ограничений. Методы разного порядка: наискорейшего спуска, сопряжённых направлений и сопряжённых градиентов, метод Ньютона и квази-Ньютоновы методы. Вопрос вычисления производных. Методы линейного поиска и методы доверительной области поиска. Модификации методов для решения невыпуклых задач, метод тяжёлого шарика.	2
3	4	Выпуклое программирование в задаче с ограничениями. Необходимое условии Куна-Таккера (КТ), условие регулярности точки и их геометрическая интерпретация. Теорема о чувствительности решения к вариации ограничения. Методы, основанные на необходимом условии КТ. Проверка достаточных условий. Критерии глобального минимума. Пример: оптимальное проектирование статически неопределимой фермы при одно- и много-параметрических воздействиях.	2
4	5	Численные методы оптимизации при наличии ограничений. Методы последовательной безусловной оптимизации - методы штрафных функций. Методы учёта активных ограничений: метод проекции градиента. Применение метода проекции градиента в пространстве состояний для конечно-элементной формулировки задач. Пример: оптимальное проектирование статически неопределимой фермы.	2
5-6	7	Оптимизация размеров элементов конструкций на примерах стержневых моделей как с использованием стандартного программного обеспечения по принципу "чёрного ящика", так и с использованием специфически адаптированных алгоритмов для решения матричной модели конструкции. Понятие о связи критериев оптимальности максимальной прочности и максимальной жёсткости. Условия максимальной прочности для упругих и неупругих систем.	4
7-8	8	Понятие о фиктивной плотности материала и о черно-белом проекте. Метод SIMP в контексте конечно элементного расчета. Роль топологической оптимизации при проектировании конструкций и материалов. Оптимизация формы и топологии элементов конструкций с использованием современных прикладных CAE пакетов.	4

5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к экзамену	см. список основной литературы	3	13,5
Топологическая оптимизация конструкции	Баничук Н.В., Оптимизация форм упругих тел, – М.: Наука, 1980.	3	12
Оптимальное проектирование статически неопределимой фермы в пределах и за пределами упругости. Сравнение аналитического и численного решений.	Хог, Э. Д. Прикладное оптимальное проектирование: Механические системы и конструкции Пер. с англ. В. М. Картвелишвили, А. А. Меликяна; Под ред. Н. В. Баничука. - М.: Мир, 1983.	3	13
Оптимальное проектирование многопролетной статически неопределимой рамы.	Хог, Э. Д. Прикладное оптимальное проектирование: Механические системы и конструкции Пер. с англ. В. М. Картвелишвили, А. А. Меликяна; Под ред. Н. В. Баничука. - М.: Мир, 1983.	3	13

6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учи-тыва-ется в ПА
1	3	Текущий контроль	Аналитические и численные методы в задачах без ограничений	1	15	Зачтено: 15 баллов: дано верное, качественно аргументированное и оформленное решение задачи. 10 баллов: решение задачи верное, но недостаточно аргументированное или имеются проблемы в оформлении. 5 баллов: имеется попытка решения, результат спорный. Не зачтено: Задание не выполнено.	экзамен
2	3	Текущий контроль	Аналитические условия и методы при наличии ограничений	1	15	Зачтено: 15 баллов: дано верное, качественно аргументированное и оформленное решение задачи. 10 баллов: решение задачи верное, но недостаточно аргументированное или имеются проблемы в оформлении. 5 баллов: имеется попытка решения, результат спорный.	экзамен
3	3	Текущий контроль	Численные методы оптимизации при	1	15	Зачтено: 15 баллов: дано верное, качественно аргументированное и оформленное решение задачи.	экзамен

			наличии ограничений			10 баллов: решение задачи верное, но недостаточно аргументированное или имеются проблемы в оформлении. 5 баллов: имеется попытка решения, результат спорный.	
4	3	Текущий контроль	Оптимизация размеров элементов конструкций	1	15	Зачтено: 15 баллов: дано верное, качественно аргументированное и оформленное решение задачи. 10 баллов: решение задачи верное, но недостаточно аргументированное или имеются проблемы в оформлении. 5 баллов: имеется попытка решения, результат спорный. Не зачтено: Задание не выполнено.	экзамен
5	3	Проме-жуточная аттестация	Все разделы	-	40	40 баллов: даны правильные ответы на два вопроса из трёх. 20 баллов: дан правильный ответ на один вопрос. 0 баллов: задание не выполнено.	экзамен

6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	Экзамен проводится письменно и включает 3 задания (см. образцы в приложенном файле). Первое задание - на математическую оптимизацию функции при наличии ограничений. Задача должна быть решена аналитически. Требуется дать пояснения, касающиеся геометрической интерпретации и глобальности найденного решения. Второе задание - задача оптимизации механической системы. Может быть решена либо аналитическими методами, либо с использованием расчётных пактов программ. Должно быть продемонстрировано инженерное понимание проблемы. Третье задание - для выполнивших первые два - на демонстрацию понимания теории оптимального проектирования. В рамках ПА происходит оценивание учебной деятельности обучающихся по дисциплине на основе полученных оценок за контрольно-рейтинговые мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации по балльно-рейтинговой системе. Допускается выставление оценки на основе текущего рейтинга (автоматом). Отлично: Величина рейтинга обучающегося по дисциплине 85…100 %. Хорошо: 75...84%. Удовлетворительно: 60...74%. Не удовлетворительно: Величина рейтинга обучающегося по дисциплине 0…59 %.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ				
		1	2	3	4	5
ПК-4	Знает: критерии оптимизации в задачах механики конструкций и машин; методы оптимизации: векторную параметрическую оптимизацию, топологическую оптимизацию (оптимизацию формы конструкций); эффективные аналитические и численные методы решения задачи	+	+			

	оптимизации, включая конечно-элементный подход					
ПК-4	Умеет: задавать и формулировать целевую функцию, показатели качества; параметры проектирования; основные типы ограничений; осваивать современное ПО для анализа и оптимизации инженерных конструкций	+				
ПК-4	Имеет практический опыт: работы с методами решения задачи оптимизации с использованием эффективных вычислительных алгоритмов		+			
ПК-5	Знает: методы оптимизации, реализованные в современных CAD/CAE системах			+	+	
ПК-5	Умеет: использовать в инженерной практике технологии оптимизации, реализованные в современных CAD/CAE системах			+	+	
ПК-5	Имеет практический опыт: с технологиями и алгоритмами, используемыми на этапе оптимизации проектируемого изделия			+	+	

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

1. Банди, Б. Методы оптимизации: Вводный курс Пер. с англ. О. В. Шихеевой; Под ред. В. А. Волынского. - М.: Радио и связь, 1988. - 128 с. ил.
2. Хог, Э. Д. Прикладное оптимальное проектирование: Механические системы и конструкции Пер. с англ. В. М. Картвелишвили, А. А. Меликяна; Под ред. Н. В. Баничука. - М.: Мир, 1983. - 479 с. ил.
3. Реклейтис, Г. Оптимизация в технике Кн. 1 В 2-х кн. Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел; Пер. с англ. В. Я. Алтаева, В. И. Моторина. - М.: Мир, 1986. - 349 с. ил.

б) дополнительная литература:

1. Баничук, Н. В. Методы оптимизации авиационных конструкций. - М.: Машиностроение, 1989. - 296 с. ил.
2. Баничук, Н. В. Оптимизация форм упругих тел АН СССР, Ин-т пробл. механики. - М.: Наука, 1980. - 255 с. ил.
3. Хаслингер, Я. Конечно-элементная аппроксимация для оптимального проектирования форм: теория и приложения Перевод с англ. А. В. Лапина; Под ред. Н. В. Баничука, Ю. А. Кузнецова. - М.: Мир, 1992. - 368 с. ил.
4. Брусов, В. С. Оптимальное проектирование летательных аппаратов. Многоцелевой поток. - М.: Машиностроение, 1989. - 229 с. ил.

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

Не предусмотрены

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Применение математических методов и ЭВМ: Вычислительные методы проектирования оптим. конструкций Учеб. пособие для вузов по специальности "Прикл. математика" Под общ. ред. А. Н. Останина. - Минск: Вышэйшая школа, 1989. - 279 с. ил.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Применение математических методов и ЭВМ: Вычислительные методы проектирования оптим. конструкций Учеб. пособие для вузов по специальности "Прикл. математика" Под общ. ред. А. Н. Останина. - Минск: Вышэйшая школа, 1989. - 279 с. ил.

Электронная учебно-методическая документация

Нет

Перечень используемого программного обеспечения:

1. PTC-MathCAD(бессрочно)
2. Dassault Systèmes-SolidWorks Education Edition 500 CAMPUS(бессрочно)
3. РСК Технологии-Система "Персональный виртуальный компьютер" (ПВК) (MS Windows, MS Office, открытое ПО)(бессрочно)
4. ANSYS-ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (Mechanical, Fluent, CFX, Workbench, Maxwell, HFSS, Simplorer, Designer, PowerArtist, RedHawk)(бессрочно)
5. -Python(бессрочно)
6. -NX Nastran(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Практические занятия и семинары	334 (2)	компьютеры с доступом к ресурсам СКЦ ЮУрГУ, проектор, экран