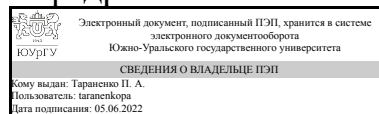


ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий выпускающей
кафедрой



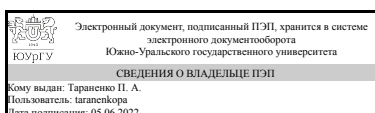
П. А. Тараненко

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины 1.Ф.М1.06 Оптимальное проектирование
для направления 15.04.03 Прикладная механика
уровень Магистратура
магистерская программа Цифровое производство высокотехнологичных изделий
из новых материалов
форма обучения очная
кафедра-разработчик Техническая механика**

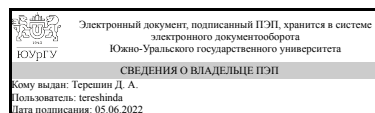
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.04.03 Прикладная механика, утверждённым приказом Минобрнауки от 09.08.2021 № 731

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



П. А. Тараненко

Разработчик программы,
к.техн.н., доцент



Д. А. Терешин

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 совместно 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
Надежность технических систем, Предельные неупругие состояния конструкций	Компьютерное моделирование в Ansys Workbench, Численное моделирование разрушения, Производственная практика, преддипломная практика (4 семестр)

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

Дисциплина	Требования
Надежность технических систем	Знать ограничения, которые могут быть наложены на конструкцию по критериям надежности. Уметь проектировать технические системы с целью увеличения их прочности и долговечности.
Предельные неупругие состояния конструкций	Знать ограничения, которые могут быть наложены на конструкцию по критериям достижения предельных состояний при неупругом поведении.

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
<i>Аудиторные занятия:</i>	48	48
Лекции (Л)	32	32
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	51,5	51,5
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
Подготовка к экзамену	13,5	13,5
Топологическая оптимизация конструкции	12	12
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 ограничений	6	4	2	0
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 условие 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	4

		много-параметрических воздействиях.	
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 неупругих систем.	6
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 условия 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	2

		проектирование статически неопределимой фермы.	
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 САЕ 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
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
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

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	Учитывается в ПА
1	3	Текущий контроль	Аналитические и численные	1	15	Зачтено: 15 баллов: дано верное, качественно аргументированное и	экзамен

			методы в задачах без ограничений			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.	
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 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
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	Промежуточная 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	<p>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 пакетов программ. Должно быть продемонстрировано инженерное понимание проблемы. Третье задание - для выполнивших первые два - на демонстрацию понимания теории оптимального проектирования. В рамках</p>	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

	<p>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 %.</p>	
--	---	--

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: Высшэйшая 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: Высшэйшая 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

