

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Модели многоэкстремальной оптимизации

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Вычислительные методы и суперкомпьютерные технологии

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.02 Модели многоэкстремальной оптимизации относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-11: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач производственно-технологической деятельности	ПК-11.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач ПК-11.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач ПК-11.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач	ПК-11.1: ЗНАТЬ технологии разработки и применения математических и программных решений в области системного и прикладного программного обеспечения. ПК-11.2: УМЕТЬ разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач научной и проектно-технологической деятельности. ПК-11.3: ВЛАДЕТЬ навыками применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач	Собеседование	Зачёт: Контрольная работа
ПК-4: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных	ПК-4.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач	ПК-4.1: ЗНАТЬ методы организации и проведения исследований с целью получения новых научных и прикладных	Собеседование	Зачёт: Контрольная работа

проблем и задач	<p>ПК-4.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p>	<p>результатов.</p> <p>ПК-4.2: УМЕТЬ проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты.</p> <p>ПК-4.3: ВЛАДЕТЬ навыками применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p>		
-----------------	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф	о ф	о ф	о ф	о ф

	о	о	о	о	о
Тема 1. Модель многоэкстремальной задачи. Редукция сложности.	14	2	2	4	10
Тема 2. Редукция ограничений.	18	4	2	6	12
Тема 3. Методы редукции размерности.	44	6	6	12	32
Тема 4. Характеристические алгоритмы оптимизации.	31	4	6	10	21
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	16	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Модель математического программирования с многоэкстремальной целевой функцией и невыпуклыми ограничениями. Понятие редукции сложности. Обзор методов редукции.

Тема 2. Метод штрафных функций и его свойства. Метод точных штрафных функций для липшицевых функций. Редукция ограничений на основе функции Лагранжа. Теоретические условия экстремума. Индексный метод.

Тема 3. Редукция размерности на основе схемы вложенной оптимизации (многошаговой схемы редукции). Функция допустимости. Проекция и сечения допустимого множества и их связь с функцией допустимости. Рекурсивное семейство вложенных функций на основе целевой функции. Общее соотношение многошаговой схемы. Примеры редукции. Свойства областей одномерного поиска. Свойства целевых функций в одномерных подзадачах многошаговой схемы. Редукция размерности на основе кривых Пеано.

Тема 4. Численные методы решения одномерных задач глобального поиска - общая модель.

Характеристические алгоритмы оптимизации. Примеры характеристических методов. Обоснование условия останова через свойство двусторонней сходимости. Всюду плотная сходимость характеристических алгоритмов. Условия локально-оптимальной сходимости, Достаточные условия сходимости к глобальному оптимуму. Инвариантность информационно-статистического алгоритма и метода Пиявского по отношению к линейному преобразованию целевой функции и области поиска.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Гришагин В.А. Редукция размерности в задачах глобальной оптимизации. Фонд электронных образовательных ресурсов ННГУ, № 1189.16.06, 2016.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

1. Постановка задачи многоэкстремальной оптимизации.
2. Метод штрафных функций и особенности его применения.

3. Функция Лагранжа .
4. Индексный метод редукции ограничений.
5. Функция допустимости и ее редуцирование.
6. Сечения допустимой области и их связь с функцией допустимости.
7. Проекция допустимой области и их связь с функцией допустимости

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Многошаговая схема редукции размерности. Основное соотношение.
2. Структура допустимых областей одномерного поиска.
3. Выпуклые и монотонно-унимодальные ограничения.
4. Свойства редуцированных одномерных функций. Сепарабельные задачи.
5. Липшицевость редуцированных одномерных функций.
6. Редукция размерности на основе кривых Пеано.
7. Характеристические алгоритмы оптимизации. Определение и примеры.
8. Условия двусторонней сходимости и условие останова.
9. Всюду плотная и локально-оптимальная сходимость.
10. Достаточные условия сходимости к глобальному экстремуму.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	На вопросы собеседования получены ответы с незначительными погрешностями.
не зачтено	Продемонстрированы ответы с грубыми ошибками.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие	При решении	Продемонс	Продемонс	Продемонс	Продемонс	Продемонстр

	минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	трированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	трированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	трированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	трированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	трированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-11

Вариант 1.

Для задачи

$$f(y) = \frac{(y-2)^2}{25} + 1$$

$$g_1(y) = \sin y$$

$$g_2(y) = \cos y$$

$$0 \leq y \leq 12$$

построить:

1. Функцию штрафа с константой $C=10$ и график этой функции.
2. Функцию Лагранжа.
3. Индексную функцию, ее график и найти решение задачи.

Вариант 2.

Для задачи

$$f(y) = \frac{(y-5)^2}{10} + 2$$

$$g_1(y) = \cos y$$

$$g_2(y) = \sin y$$

$$0 \leq y \leq 14$$

построить:

1. Функцию штрафа с константой $C=10$ и график этой функции.
2. Функцию Лагранжа.
3. Индексную функцию, ее график и найти решение задачи.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-4

Вариант 1.

Решить аналитически по схеме вложенной оптимизации задачу

$$-y_1^2 + 2y_2 \rightarrow \min$$

$$y_2 - \sqrt{y_1} \geq 0$$

$$0 \leq y_1 \leq 2$$

$$0 \leq y_2 \leq 4$$

Вариант 2.

Решить аналитически по схеме вложенной оптимизации задачу

$$f(y_1, y_2) = y_1^2 - 6y_1 + y_2 + 7 = (y_1 - 3)^2 + y_2 - 2 \rightarrow \min$$

$$y_2 \geq |y_1^2 - 1|$$

$$-2 \leq y_1 \leq 2, 0 \leq y_2 \leq 2$$

Вариант 3.

Решить аналитически по схеме вложенной оптимизации задачу

$$y_1^2 - y_2^2 \rightarrow \min$$

$$y_2 - \sqrt{y_1} \leq 0$$

$$0 \leq y_1 \leq 1.5$$

$$0 \leq y_2 \leq 0.5$$

Вариант 4.

$$f(y_1, y_2) = \sqrt{y_1} + \sqrt{y_2} \rightarrow \min$$

$$y_2 \geq (y_1 - 1)^2$$

$$0 \leq y_1 \leq 4, 0 \leq y_2 \leq 3$$

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Контрольная работа выполнена с незначительными погрешностями.

Оценка	Критерии оценивания
не зачтено	Контрольная работа выполнена с грубыми ошибками.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Городецкий С. Ю. Нелинейное программирование и многоэкстремальная оптимизация : учеб. пособие / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2007. - 489 с. - (Модели и методы конечномерной оптимизации ; вып. 2). - ISBN 978-5-85746-987-3 : 90.00., 82 экз.
2. Стронгин Роман Григорьевич. Численные методы в многоэкстремальных задачах : (информ.- стат. алгоритмы). - М. : Наука, 1978. - 240 с. : ил. - (Оптимизация и исследование операций / Н. Н. Моисеев). - 0.75., 25 экз.
3. Васильев Федор Павлович. Численные методы решения экстремальных задач : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Приклад. математика". - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Наука, 1988. - 549 с. : ил. - ISBN 5-02-013796-0 (в пер.) : 1.60., 178 экз.
4. Гришагин Владимир Александрович. Редукция размерности в задачах глобальной оптимизации : учебно-методическое пособие / В. А. Гришагин ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Институт информационных технологий, математики и механики. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2016. - 17 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=823661&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Карманов Владимир Георгиевич. Математическое программирование : [учеб. пособие для вузов по специальности "Прикладная математика"]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1986. - 286, [1] с. : граф. - 0.80., 127 экз.
2. Сергеев Ярослав Дмитриевич. Диагональные методы глобальной оптимизации. - М. : Физматлит, 2008. - 352 с. - (Библиотека Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского). - ISBN 978-5-9221-1032-7 : 270.00., 16 экз.
3. Батищев Д. И. Поисковые методы оптимального проектирования. - М. : Советское радио, 1975. - 216 с. - 0.74., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Инструментальная среда программирования MS Visual Studio
2. Программная система многоэкстремальной оптимизации MULTEX
3. Программная система многоэкстремальной оптимизации Абсолют.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Проектор, экран.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Гришагин Владимир Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Рецензент(ы): Кузенков Олег Анатольевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Баркалов Константин Александрович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.