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 ученого совета ННГУ
протокол от
«30» ноября 2022 г. № 13

Рабочая программа дисциплины

Методы оптимизации

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки
01.03.02 Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы
Прикладная математика и информатика (общий профиль)

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений. Код дисциплины Б1.В.05.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.05 «Методы оптимизации» относится к части ООП направления подготовки *01.03.02 «Прикладная математика и информатика»*, формируемой участниками образовательных отношений.

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

<table>
<tr><th rowspan="2">Формируемые компетенции
(код, содержание компетенции)</th><th colspan="2">Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции</th><th rowspan="2">Наименование оценочного средства</th></tr>
<tr><th>Индикатор достижения компетенции
(код, содержание индикатора)</th><th>Результаты обучения по дисциплине</th></tr>
<tr><td>ПК-4. Способен применять методы математического и компьютерного исследования при анализе задач на основе знаний фундаментальных математических и компьютерных наук</td><td>ПК-4.1. Знает фундаментальные и теоретические основы, необходимые для исследования научных проблем</td><td>Знание:
З1) основных фактов из математического анализа, геометрии, алгебры и других дисциплин, на которые опирается изучение методов оптимизации
З2) основных принципов и методов создания, анализа, аналитического и численного исследования математических моделей в области методов оптимизации:
1. принцип Р.Беллмана, структуру рекуррентных уравнений Р.Беллмана;
2. понятие оптимальности для задач векторной оптимизации;
3. основные понятия и факты из выпуклого анализа, включая свойства выпуклых функций;
4. запись условий оптимальности для различных типов задач математического программирования: условия Лагранжа, Каруша–Куна–Таккера, достаточные условия второго порядка и их роль в построении численных методов;
5. классические и эффективные вычислительные методы одномерной, многомерной локальной и глобальной оптимизации и условия их применимости;
6. методы учета ограничений в локальной и многоэкстремальной оптимизации.
7. принцип максимума Л.С. Понтрягина в задачах оптимального управления;
8. необходимые условия экстремума в</td><td>Собеседование.

Практические задания</td></tr>
</table>

		простейших задачах вариационного исчисления З3) дополнительных принципов, фактов, понятий, методов из предметной области	
	ПК-4.2. *Умеет самостоятельно применять полученные знания для анализа объекта исследования, определять цели и задачи исследования, а также выбирать корректный метод исследования научной проблемы* ***ПК-4.3***. *Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности, а именно решения научных задач в соответствии с поставленной целью и выбранной методикой*	Умение: У1) решать математические задачи и проблемы создания, анализа и исследования математических моделей из области методов оптимизации, применять численные и аналитические методы: 1. *выполнять математическую постановку задач оптимизации* 2. *строить вычислительные схемы решения задач динамического программирования с помощью уравнений Беллмана;* 3. *использовать методы сверток в задачах многокритериальной оптимизации;* 4. *находить решения задач математического программирования, имеющих простое аналитическое описание, с использованием условий Каруша-Куна-Таккера;* 5. *выбирать эффективные вычислительные методы решения нелинейных задач оптимизации различного типа и правильно интерпретировать полученные результаты.* 6. *применять универсальные математические пакеты для выполнения оптимизационных расчетов;* 7. *применять принцип максимума для аналитического решения простых задач оптимального управления;* 8. *применять уравнение Эйлера и его обобщения, а также условия трансверсальности и условие Лежандра для решения задач вариационного исчисления.* У2) доказывать ранее изученные в рамках дисциплины математические утверждения, а также новые, примыкающие к ним; У3) применять численные и аналитические методы решения базовых математических задач и классических задач естествознания в практической деятельности; Владение: В1) терминологией предметной области; В2) принципами построения и выбора эффективных численных методов решения нелинейных задач оптимизации; В3) приемами аналитического решения задач из различных разделов методов оптимизации и интерпретации результатов	Контрольные работы Собеседование.

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
Общая трудоемкость	**5 ЗЕТ**
Часов по учебному плану	**180**
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): **- занятия лекционного типа** **- занятия семинарского типа** **- занятия лабораторного типа** **- текущий контроль (КСР)**	**98** **48** **32** **16** **2**
самостоятельная работа	**46**
Промежуточная аттестация – экзамен	**36**

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание 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**	**Занятия лабораторного типа**	**Всего**	
Раздел 1. Введение: постановки задач нелинейного математического программирования, многокритериальные задачи. Динамическое программирование	24	6	8	4	18	6
Раздел 2. Элементы выпуклого анализа. Теория условий оптимальности.	26	10	6	4	20	6
Раздел 3. Численные методы безусловной локальной оптимизации.	24	8	4	4	16	8
Раздел 4. Методы учета функциональных ограничений в локальной оптимизации.	16	6	2	2	10	6
Раздел 5. Численные методы многоэкстремальной оптимизации	16	6	2	2	10	6
Раздел 6. Задачи и методы оптимального управления	18	6	6	0	12	6
Раздел 7. Задачи и методы вариационного исчисления	18	6	4	0	10	8
Текущий контроль (КСР)	2				2	
Промежуточная аттестация – экзамен	36					
Итого	180	48	32	16	98	46

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает: *выполнение в рамках лабораторного практикума по дисциплине специальных проектных заданий, направленных на практическое освоение методов математического и компьютерного исследования, необходимых при анализе предложенных задач из предметной области изучаемой дисциплины*. Примеры тем проектных заданий, предлагаемых в рамках часов практической подготовки:

1. Синтез, визуализация и исследование с использованием математических пакетов невыпуклых двумерных задач математического программирования с ограничениями–неравенствами, в которых имеются точки Куна-Таккера, не являющиеся условными локальными минимумами;
2. Построение, визуализация и исследование с использованием специального программного обеспечения двумерных задач математического программирования без функциональных ограничений, представляющих сложности для простых методов безусловной локальной оптимизации, сопоставительное исследование на построенных задачах поведения более сложных прикладных методов локальной оптимизации;
3. Построение, визуализация и исследование с использованием специального программного обеспечения структуры двумерных задач математического программирования с ограничениями–неравенствами, исследование на построенных задачах возможностей численных методов учета ограничений на примере метода внешнего степенного штрафа.

Проектные задания выполняются группами из трех–четырех человек.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 8 часов из общего объема 48 часов практических занятий.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

– практических навыков в соответствии с профилем ОП, а именно, на формирование *практических навыков при выполнении фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера*;

– компетенций — *ПК*-4 (*способность применять методы математического и компьютерного исследования при анализе задач на основе знаний фундаментальных математических и компьютерных наук*).

Текущий контроль успеваемости реализуется в форме опросов на занятиях семинарского типа, лабораторного типа.

Промежуточная аттестация проходит в форме комплексного экзамена, включающего выполнение практических заданий наряду с традиционными ответами на вопросы по программе дисциплины.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Виды самостоятельной работы студентов:

- проработка теоретического материала лекционных занятий;
- подготовка к выполнению работ лабораторного практикума;
- подготовка домашних заданий к научно-практическим занятиям;
- подготовка к выполнению письменных контрольных работ;
- подготовка к промежуточной аттестации в форме экзамена.

4.1. Проработка теоретического материала лекционных занятий

Выполняется самостоятельно с использованием лекционных материалов и рекомендованной литературы. Контроль выполняется в форме проведения ежемесячного письменного экспресс-опроса по понятиям, фактам, формулировкам, выполняемого в течение 15 минут на занятиях семинарского типа. Опросы включают по пять коротких вопросов и оцениваются дробными баллами от 0 до 5 (сумма баллов, полученных за ответ на каждый вопрос), а также итоговым двоичным показателем «зачтено»-«не зачтено». «Зачтено» соответствует полученным баллам от 3 и выше.

4.2. Подготовка к выполнению работ лабораторного практикума

Порядок подготовки и проведения. Лабораторный практикум включает ряд тем, освоение которых предполагает самостоятельное предварительное изучение студентами дополнительного теоретического материала, выходящего за пределы материала, представленного в лекциях.

Проведение лабораторного практикума включает две части: во-первых, дискуссионно-семинарское обсуждение круга поставленных в работе проблем, обсуждение индивидуальных заданий; во-вторых, экспериментально-исследовательская часть, заканчивающаяся обсуждением и сопоставлением полученных результатов.

Темы лабораторного практикума

Лабораторный практикум 1. Поиск оптимальных путей на графах с векторными весами.

Лабораторный практикум 2. Использование условий оптимальности для численного решения задач математического программирования с использованием математических пакетов.

Лабораторный практикум 3. Исследование методов безусловной локальной оптимизации в программной лаборатории LocOpt.

Лабораторный практикум 4. Исследование метода штрафов в программной лаборатории LocOpt.

Лабораторный практикум 5. Экспериментальное исследование методов многоэкстремальной оптимизации.

Методические материалы для самостоятельной работы по темам 1-5 лабораторного практикума

Материалы лекций; Городецкий С.Ю. «Лабораторный практикум по методам локальной оптимизации в программной системе LocOpt». Электронный ресурс: http://www.unn.ru/issues/aids.html?pscience=6&posdate=2007; Городецкий С.Ю., Гришагин В.А. Нелинейное программирование и многоэкстремальная оптимизация. Учебное пособие. Н.Новгород: изд. ННГУ, 2007 (81 экз.); список рекомендованной литературы.

Способы, средства и порядок контроля

Контроль самостоятельной работы студентов при подготовке теоретической части лабораторных практикумов выполняется в форме устного опроса-беседы-допуска по необходимой теории, проводимого в начале каждого занятия по лабораторному практикуму. Шкала оценивания троичная: «не зачтено», «зачтено условно», «зачтено». В первых двух случаях, студенты получают дополнительные индивидуальные теоретические задания различного объема и должны отчитаться по их выполнению письменно.

4.3. Подготовка домашних заданий к научно-практическим занятиям

Домашние задания выдаются по имеющемуся задачнику, который включает краткий теоретический материал и примеры решения задач из каждого раздела.

Проверка выполнения домашних заданий проводится в начале каждого практического занятия. Используется три формы контроля: – заполнение листа самооценки степени выполнения каждого из домашних заданий; – выборочная проверка выполнения заданий у двух-трех человек из группы; – проверка в форме коллективного обсуждения у доски результатов выполнения отдельных заданий одним или двумя студентами.

4.4. Подготовка к выполнению письменных контрольных работ

В течение семестра проводится две аудиторные и две домашние контрольные работы по материалам разделов лекционного курса: 1; 2-3-4; 6; 7 (см. таблицу с описанием разделов дисциплины из п. 3.2.1).

Для подготовки к контрольным работам рекомендуется повторно прочитать теоретические разделы в задачнике, указанном в п.4.3, просмотреть полезные разделы в соответствующих источниках из списка рекомендованной литературы (раздел 6), а также самостоятельно решать несколько задач по теме контрольной работы из указанного задачника.

4.5. Подготовка к промежуточной аттестации в форме экзамена

В качестве методических материалов при подготовке к экзамену рекомендуется использовать собственные конспекты лекций, а также источники, рекомендованные в списке литературы раздела 6.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	**Шкала оценивания сформированности 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 обучающегос	Уровень знаний ниже минималь-ных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.	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, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	я от ответа						
Умения	Отсутствие минималь-ных умений. Невозмож-ность оценить наличие умений вследствие отказа обучающего-ся от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущест-венным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Навыки	Отсутствие владения материалом. 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 некоторыми недочетами.	Продемонст-рированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми 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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1 Контрольные вопросы к экзамену

Вопросы	*Код формируемой компетенции*
Раздел 1.	ПК-4
Общая постановка однокритериальной задачи оптимизации. Понятия локально-оптимального и глобально-оптимального решений.	ПК-4
Обобщение понятий оптимальности на многокритериальные задачи оптимизации. Решения оптимальные по Парето и Слейтеру (эффективные и полуэффективные решения).	ПК-4
Методы линейной свертки и свертки Гермейера, их основные свойства.	ПК-4
Задачи динамического программирования с фиксированным временем начала и окончания. Постановка.	ПК-4
Понятие функции Беллмана (определение) при решении «от начала», а также «от конца». Метод рекуррентных уравнений Беллмана (вывод и применение).	ПК-4
Принцип Беллмана как необходимое условие (с доказательством для аддитивного критерия) и как достаточное условие (с доказательством) для в задачах с аддитивным критерием и критерием в виде максимума. Связь принципа Беллмана с уравнениями Беллмана.	ПК-4
Обратные рекуррентные соотношения Беллмана (запись от начала процесса).	ПК-4
Пример использования соотношений Беллмана (решение задачи об оптимальном распределении с функцией дохода в виде квадратного корня).	ПК-4
Постановка задачи динамического программирования с нефиксированной длительностью процесса, отличия от постановки с фиксированным временем окончания.	ПК-4
Обобщение уравнений Беллмана на задачи с нефиксированной длительностью процесса. Применение к задачам поиска оптимальных путей на графах.	ПК-4
Задачи поиска оптимальных путей на графах с неотрицательными весами ребер: метод Дейкстры с доказательством оптимальности построенных им путей (по материалам лабораторной работы), связь метода Дейкстры с принципом Беллмана в форме достаточного условия.	ПК-4
Задачи на графах с векторными весами ребер. Отыскание оптимальных по Парето и Слейтеру решений методом сверток, согласование вида свертки с видом критерия.	ПК-4
Раздел 2.	
Выпуклые множества, выпуклые функции (выпуклость и строгая выпуклость). Проекция точки на множество, две леммы о свойствах проекции.	ПК-4
Отделимость точки и множества, строгая и сильная отделимость, геометрический смысл понятия отделимости, две теоремы об отделимости.	ПК-4
Свойства выпуклых функций (с доказательствами, кроме свойства непрерывности во внутренних точках), включая два критерия выпуклости.	ПК-4
Задача выпуклого математического программирования и ее свойства.	ПК-4
Возможность отсечений подмножеств, не содержащих глобального минимума, по измерениям градиента в гладких выпуклых задачах (следствие критерия выпуклости дифференцируемых функций).	ПК-4
Градиент и производная по направлению, ее вычисление в случае дифференцируемости функции, свойства градиента.	ПК-3
Условие оптимальности первого порядка при отсутствии ограничений: теорема Ферма.	ПК-4
Задачи с ограничениями, функция Лагранжа. Определение понятия регулярности допустимого множества в точке и в целом.	ПК-4
Задачи с ограничениями-равенствами, теорема Лагранжа (метод множителей Лагранжа).	ПК-4
Достаточное условие регулярности допустимого множества в точке для ограничений-равенств. Геометрическая интерпретация условий оптимальности из теоремы Лагранжа.	ПК-4

Теорема Каруша-Куна-Таккера в недифференциальной форме для выпуклой задачи, записанная через принцип минимума.	ПК-4
Теорема Каруша-Куна-Таккера в недифференциальной форме для выпуклой регулярной задачи, записанная через седловую точку функции Лагранжа.	ПК-4
Достаточное условие регулярности Слейтера.	ПК-4
Теорема о необходимых и достаточных условиях минимума в дифференциальной форме для класса выпуклых регулярных задач.	ПК-4
Геометрическая интерпретация условий оптимальности, записанных в градиентной форме для выпуклого регулярного случая. Геометрическая интерпретация ситуации $\lambda_i < 0$ при разложении антиградиента целевой функции в выпуклой задаче при неверной гипотезе о наборе активных неравенств.	ПК-4
Теорема Каруша-Куна-Таккера в дифференциальной форме для невыпуклых задач – условие оптимальности первого порядка.	ПК-4
Достаточное условие регулярности допустимого множества в точке в форме линейной независимости градиентов.	ПК-4
Геометрические примеры недостаточности условий первого порядка для существования локального минимума в невыпуклом случае.	ПК-4
Теорема о достаточных условиях первого порядка острого локального минимума в задачах с ограничениями (без доказательства).	ПК-4
Теорема о достаточных условиях второго порядка для строгого локального минимума в задачах с ограничениями (без доказательства).	ПК-4
Раздел 3.	
Понятие метода поисковой оптимизации. Испытание и порядок испытания. Априорная и поисковая информация. Пассивные и последовательные алгоритмы.	ПК-4
Принцип наилучшего гарантированного результата. Оптимальные и ε–оптимальные алгоритмы. Одношаговая последовательная оптимальность.	ПК-4
Класс унимодальных функций, правило сокращения интервала по двум и по k измерениям. Построение оптимальных и ε–оптимальных пассивных N–шаговых алгоритмов, их гарантированная эффективность.	ПК-4
Построение ε–оптимального последовательного N–шагового алгоритма (метод Фибоначчи).	ПК-4
Неоптимальные алгоритмы: методы золотого сечения и два варианта метода дихотомии. Связь метода Фибоначчи с методом золотого сечения.	ПК-4
Задачи поиска локального экстремума в задачах без ограничений. Общая структура итерационных методов локального поиска. Понятие порядка метода. Линейная, сверхлинейная и квадратичная скорости сходимости (определения).	ПК-4
Два критерия выбора шагового множителя. Алгоритмы Армихо и одномерной минимизации. «Аккуратный» одномерный поиск.	ПК-4
Простые методы многомерного локального поиска и их свойства: градиентные методы, включая метод наискорейшего градиентного поиска, и метод Ньютона. Вывод итерационного соотношения метода Ньютона.	ПК-4
Теоремы сходимости для методов наискорейшего градиентного поиска и метода Ньютона.	ПК-4
Свойства метода наискорейшего градиентного поиска и метода Ньютона.	ПК-4
Методы прямого поиска на примере метода Хука-Дживса.	ПК-4
Общие представления об эффективных методах локальной оптимизации: алгоритм метода Ньютона с регулировкой шага (например, по Армихо), модификация матрицы Гессе до положительной определенности на основе модифицированного преобразования Холесского.	ПК-4
Квазиньютоновское условие, квазиньютоновский метод Давидона-Флетчера-Пауэлла.	ПК-4
Понятие сопряженных направлений, понятие метода сопряженных направлений и его поведение на квадратичных строго выпуклых функциях, алгоритм метода сопряженных градиентов Флетчера–Ривса для квадратичных и неквадратичных функций.	ПК-4
Раздел 4.	
Общие методы решения задач с ограничениями. Метод внешних штрафных функций, степенная функция штрафа. Влияние показателя степени на гладкость функции штрафа.	ПК-4
Теорема сходимости метода внешнего штрафа.	ПК-4

Оценки скорости сходимости метода внешнего степенного штрафа (без доказательства).	ПК-4
Раздел 5	ПК-4
Задачи многоэкстремальной оптимизации. Липшицевы функции и их свойства.	ПК-4
Метод Пиявского, теорема о свойствах.	ПК-4
Версия метода с использованием оценки константы Липшица. Одномерный вариант метода Пиявского — метод ломанных.	ПК-4
Алгоритм информационно–статистического метода в сравнении с методом ломаных.	ПК-4
Многомерные многоэкстремальные задачи. Метод деления на три, теорема о свойствах. Обобщение метода деления на три на задачи с ограничениями-неравенствами для случая непустого допустимого множества.	ПК-4
Раздел 6.	
Постановка задачи оптимального управления. Понятия оптимального управления, областей управляемости и неуправляемости.	ПК-4
Функция Беллмана в задаче оптимального управления. Получение условий оптимальности в форме уравнения Беллмана для задачи оптимального управления.	ПК-4
Теорема о необходимых условиях оптимальности управления в форме принципа максимума Понтрягина, связь принципа максимума с уравнением Беллмана.	ПК-4
Линейные задачи на оптимальное быстродействие. Постановка, преобразование формы записи принципа максимума для этих задач, исходя из теоремы о принципе максимума для общей задачи.	ПК-4
Структура оптимального управления в линейных задачах на оптимальное быстродействие.	ПК-4
Условие общности положения. Теорема о необходимых и достаточных условиях оптимальности управления (достаточность — без доказательства).	ПК-4
Другие формы постановки задач оптимального управления, изменения формы принципа максимума: задача с фиксированным временем достижения. Задачи оптимального управления со скользящими концами, условие трансверсальности.	ПК-4
Раздел 7.	
Простейшие задачи вариационного исчисления (с закрепленными, свободными и скользящими концами) — постановки задач.	ПК-4
Формализация понятия близости кривых. Понятие сильного и слабого локального экстремумов.	ПК-4
Метод вариации Лагранжа. Пробные функции, вариация кривой. Первая и вторая вариации функционала. Лемма о необходимых условиях локального экстремума в общей форме.	ПК-4
Экстремум и экстремаль функционала (определение экстремали). Основная лемма вариационного исчисления.	ПК-4
Вычисление первой вариации функционала для задач с закрепленными концами, задач со свободными концами, а также для задач со скользящими концами.	ПК-4
Вывод уравнения Эйлера и граничных условий как необходимых условий первого порядка для экстремума и как необходимых и достаточных условий для экстремалей в трех простейших задачах вариационного исчисления.	ПК-4
Естественные граничные условия и условия трансверсальности в задачах со свободными и скользящими концами. Их геометрический смысл.	ПК-4
Первые интегралы уравнения Эйлера.	ПК-4
Экстремали с изломами. Теорема Дюбуа-Реймона (без доказательства).	ПК-4
Вычисление второй вариации в предположении закрепленных концов. Необходимое условие второго порядка для минимума (максимума) функционала — условие Лежандра.	ПК-4
Вариационные задачи с ограничениями. Изопериметрическая задача, постановка.	ПК-4
Применение подхода Лагранжа. Теорема об условиях экстремума первого порядка в изопериметрических задачах.	ПК-4

5.2.2. Типовые практические задания по лабораторному практикуму для проверки компетенции ПК-4

Пример индивидуальных дополнительных вопросов собеседования по лабораторному практикуму 1 (оценка сформированности ПК-3).

1. Привести свой пример графа и постановки задачи с нарушением принципа Беллмана в форме необходимого условия.

2. Сформулировать принцип Беллмана в форме достаточного условия «с конца». Доказать для критерия типа максимума.

3. Доказать, что при строго положительных коэффициентах свертки решениями в методе линейной свертки будут являться только эффективные (оптимальные по Парето) пути.

4. Привести свой пример поэтапного выполнения метода Дейкстры для графа с 5-7 вершинами для критерия типа максимума. Подобрать пример, приводящий к изменению пометок ребер у некоторых вершин и останову вычислений до того, как все вершины приобретут постоянные метки.

5. В чем Вы видите связь метода Дейкстры с принципом Беллмана в форме достаточного условия?

6. Сформулируйте и обоснуйте известные Вам свойства свертки Гермейера.

Пример индивидуальных дополнительных вопросов собеседования по лабораторному практикуму 2 (оценка сформированности ПК-3).

1. Дать определение регулярности области в точке. Привести свой пример области, порожденной гладкими неравенствами (для класса гладких задач), с нарушением регулярности в одной из точек (с обоснованием).

2. Привести пример допустимого множества, для которого существует допустимая точка, где ограничения–неравенства выполняются строго, а условие Слейтера применять нельзя. Проанализировать его доказательство и указать причину его неприменимости в Вашем случае.

3. Привести свой пример ситуации (для гладкого случая), когда точка удовлетворяет всем условиям Куна-Таккера, но не является локальным минимумом.

4.Как должны измениться условия оптимальности для гладких задач с неравенствами в задачах на максимум? Привести геометрическую иллюстрацию взаиморасположения векторов градиентов в соответствующем случае. Обосновать.

5. Доказать, что на классе гладких задач с невыпуклой целевой функцией и областью, удовлетворяющей достаточному условию регулярности Слейтера, это условие применимо при наличии гладкости ограничений. Т.е. требуется доказать это достаточное условие регулярности для измененного класса задач.

5.2.3. Типовые комплексные задания для оценки сформированности компетенции ПК-4

Пример типового задания для контрольной работы 1 (оценка формирования ПК-4).

1. Планируется производство на двух предприятиях в течение **N** лет. Сумма начальных средств в фонде развития, предназначенных для распределения равна **S**. Средства в размере **u**, выделенные **i**-му предприятию в начале очередного года, приносят за год доход $\mathbf{J_i(u)}$,а также сумму $\mathbf{f_i(u)}$, передаваемую в совместный фонд развития для дальнейшего финансирования производства. Средства выделяются предприятиям суммами, кратными величине **d** так, что средства фонда полностью делятся между предприятиями, за исключением сумм, меньших **d** (эти последние суммы теряются). В начале каждого следующего года средства, переданные в фонд, объединяются и заново делятся. Необходимо добиться максимального суммарного совокупного дохода, образованного из значений функций **J**, за счет выбора стратегии перераспределения средств.

Поставить задачу в форме задачи динамического программирования, записать вид рекуррентных уравнений Беллмана для произвольного N/ Выполнить расчеты при следующих данных: $\mathbf{N=3, S=120, f_1(u)=0.4u, f_2(u)=0.6u,}$

d=20.

u	0	20	40	60	80	100	120
J_1(u)	0	5	8	12	14	15	16
J_2(u)	0	3	5	8	12	14	15

Пример типовых заданий для контрольной работы 2 (оценка формирования ПК-4)

МП-1. Определить тип задачи, выяснить регулярность области.
Найти решение.

min x^2 + (1/2)*y^2 + z^2 + (x + y)*z -2*x - z
7 + y + z >= 0
x + z >= 5
2*x + y + z + 1 >= 0
4*z - x >= 10
x + y + 2*z = 1

МП-2. Привести (в геометрической форме представления) пример гладкой задачи с ограничениями-равенствами, где существует точка, удовлетворяющая условиям Лагранжа, но не являющаяся ни локальным минимумом, ни максимумом.

МП-3. Будет ли на классе гладких задач регулярно допустимое множество в виде полосы шириной 2*R? из которой вырезан вписанный в нее круг радиуса R? Привести обоснование ответа.

Пример типового задания для контрольной работы 3 (оценка формирования ПК-4)

1. Найти область управляемости и осуществить синтез оптимальных управлений в задаче о быстрейшем попадании в начало координат для линейной системы $\ddot{x} + 2h\dot{x} + kx = u(t)$, где $-1 \le u(t) \le +1$, в следующих случаях: (a) $\lambda_1 < 0, \lambda_2 < 0$; (b) $\lambda_1 > 0, \lambda_2 < 0$; (c) $\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0$;
(d) $Re\ \lambda_1 > 0,\ Re\ \lambda_2 < 0$;
(e) $Re\ \lambda_1 > 0,\ Re\ \lambda_2 > 0$.
Здесь λ_1 и λ_2 — корни характеристического уравнения $\lambda^2 + 2h\lambda + k = 0$.
При решении задачи самостоятельно выбрать значения коэффициентов *h* и *k* при которых будут обеспечены указанные типы значений корней характеристического полинома.

Пример типовых заданий для контрольной работы 4 (оценка формирования ПК-4)

1. Найти экстремали функционалов, выяснить, может ли на этих экстремалях достигаться минимум (максимум) функционала:

a $I[y(\cdot)] = \int_1^{\ell}(xy'^2 + yy')dx\,; y(1) = 0, y(\ell) = 1.$

b $I[y(\cdot)] = \int_a^b(2xy + (x^2 + e^y)y')dx\,; y(a) = A, y(b) = B.$

c $I[y(\cdot)] = \int_0^1(e^y + xy')dx\,; y(0) = 0, y(1) = a.$

d $I[y(\cdot)] = \int_0^{\pi}(y'^2 - y^2)dx\,; y(0) = 1, y(\pi) = -1.$

e $I[y(\cdot)] = \int_0^1(2e^y - y^2)dx\,; y(0) = 1, y(1) = e.$

f $I[y(\cdot)] = \int_0^{x_1}(1 + x)y'^2dx\,, y(0) = 0, y(x_1) + x_1 = 2.$

2. Найти решение изопериметрической задачи:

$$I[y(\cdot)] = \int_0^{\ell}(y')^2dx\,; y(0) = y(\ell) = 0, \int_0^{\ell} y^2dx = 1.$$

5.2.4. Типовые задания тестового характера для допуска к устному экзамену (оценка сформированности компетенции ПК-4)

Приведенные ниже образцы тестовых заданий применяются на экзамене в качестве допуска к устному собеседованию по билетам.

01a. Какая функция называется функцией Беллмана $S_k(x)$, смысл ее аргумента? 01b. Дайте определение выпуклого множества. Выпукло ли пустое множество? 01c. Дайте определение производной функции по направлению и формулу ее вычисления через градиент. 01d. Чем определяется порядок вычислительного метода оптимизации? Приведите примеры методов первого и второго порядка. 01e. Постановка задачи вариационного исчисления со свободными концами. Укажите требования к классу допустимых кривых.
02a. Дайте определение решения, оптимального по Парето. Поясните картинкой. 02b. Дайте определение проекции точки y на множество D. Картинка-пример. Первая лемма о проекции. 02c. Определите множество направлений строгого локального убывания функции Q в точке x, если $\nabla Q(x) = (1;\ 2)$. 02d. Назовите составляющие понятия вычислительного метода оптимизации. Укажите эти составляющие на примере метода наискорейшего градиентного поиска. 02e. Что называют первой вариацией функционала, экстремалью? Вид первой вариации при закрепленных концах.

5.2.5. Типовые задания тестового характера, выносимые на экзамен для оценки сформированности компетенции ПК-4 на уровне не выше «удовлетворительно»

Приведенные ниже билеты-тесты позволяют оценить уровень владения компетенцией ПК-3 до уровня, соответствующего оценке «удовлетворительно».

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Кафедра *ТУиДС* Дисциплина *Методы оптимизации – ПМИ*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ-ТЕСТ № **1**

1. Постановка задачи динамического программирования с фиксированной длительностью процесса. Определение функции Беллмана $S_k(x)$ при решении «от конца», смысл ее аргумента и индекса.
2. Определение решений, оптимальных по Парето (эффективных решений). Метод свертки Гермейера. Геометрическая интерпретация. При каких значениях коэффициентов свертки Гермейера будет выделено решение (4;2), если оно эффективно?
3. Метод внешних штрафных функций – описание применения с геометрической иллюстрацией. Влияние показателя степени в степенном штрафе на гладкость функции штрафа. Как влияет наличие и порядок гладкости на применение метода?
4. Достаточное условие регулярности в форме линейной независимости (с доказательством). Приведите геометрическую иллюстрацию случая нарушения этих достаточных условий в плоской задаче с двумя неравенствами.
5. Необходимые условия минимума в простейшей задаче вариационного исчисления со свободными концами.

Зав. кафедрой ___________________________

Экзаменатор ____________________________

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Кафедра ___*ТУиДС*___ *Дисциплина* ___*Методы оптимизации – ПМИ*___

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ-ТЕСТ № **2**

1. Общий вид рекуррентных уравнений Беллмана при записи «от начала» с пояснением всех обозначений.
2. Критерий выпуклости дифференцируемой функции (с доказательством). Используя критерий, записать вид множества точек x, среди которых не может содержаться глобальный минимум выпуклой Q, если $\nabla Q(0) = (1;1)$.
3. Формулировка теоремы Каруша-Куна-Таккера в дифференциальной форме (выпуклый случаи). Привести геометрическую иллюстрацию выполнения условий в задаче $\min x1^2 + x2^2,\ x2 + x1 - 1 = 0,\ x2 \le x1 - 1$.
4. Определение унимодальной функции. Правило сокращения интервала при поиске минимума. Формула гарантированной эффективности после N измерений. Перечень последовательных алгоритмов в таких задачах с указанием их гарантированных эффективностей.
5. Постановка линейной задачи на оптимальное быстродействие. Какие требования накладываются на класс допустимых управлений? Теорема о необходимых и достаточных условиях оптимальности управления.

Зав. кафедрой ___________________________

Экзаменатор ____________________________

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Кафедра ___*ТУиДС*___ *Дисциплина* ___*Методы оптимизации – ПМИ*___

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ-ТЕСТ № **3**

1. Определение функции Беллмана $Z_k(x)$ при решении «от начала». Общий вид рекуррентного уравнения Беллмана при записи «от начала» с пояснением всех обозначений.
2. Определение строго выпуклой функции. Геометрическая иллюстрация определения с подписями на рисунке. Что можно сказать о выпуклости на выпуклом множестве D суммы вида $\sum_{k=1}^{m} \lambda_k \cdot f_k(x)$, если все функции $f_k(x)$ выпуклы на D?
3. Производная по направлению, ее вычисление для дифференцируемой функции. Теорема Ферма (с доказательством).
4. Постановка задачи оптимального управления. Какие требования накладываются на оптимальное управление в теореме о принципе максимума Понтрягина?
5. Вид итерационной формулы метода Ньютона и геометрическая иллюстрация принципа выбора новой точки. Условия, обеспечивающие сверхлинейную сходимость метода. Что можно сказать про область сходимости?

Зав. кафедрой ___________________________

Экзаменатор ____________________________

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Кафедра *ТУиДС* Дисциплина *Методы оптимизации – ПМИ*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ-ТЕСТ № **4**

1. Алгоритм метода Дейкстры, условия применимости. Что характеризует значение временной метки вершины в методе Дейкстры (т.е. каков содержательный смысл величины этой метки)?
2. Определение отделимости точки и множества, строгая и сильная отделимость. Первая теорема об отделимости (с доказательством). Является ли строго отделимым центр тяжести треугольника от множества его вершин?
3. Теорема Куна-Таккера в терминах седловой точки (описание класса задач и формулировка). Можно ли сделать вывод о выпуклости функции $Q(x)$ в R^N, если для любого C множества $\{x : Q(x) \le C\}$ выпуклы?
4. Правило сокращения интервала. Гарантированная неопределенность после N измерений. Оптимальные и ε–оптимальные пассивные N–шаговые алгоритмы для унимод. функц.(с объяснением).
5. Какая кривая называется сильным локальным минимумом функционала? Какое значение имеет анализ знака производной $\partial^2 F(\ldots)/\partial \dot{x}^2$ при решении простейших задач вариационного исчисления?

Зав. кафедрой ____________________________

Экзаменатор ____________________________

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Кафедра *ТУиДС* Дисциплина *Методы оптимизации – ПМИ*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ-ТЕСТ № **5**

1. Постановка задачи динамического программирования с нефиксированной длительностью процесса. Вид обобщенного уравнения Беллмана для этих задач.
2. Алгоритм метода Фибоначчи. Формула для его гарантированной эффективности.
3. Общая структура итерационных методов локального поиска. Два критерия выбора шагового множителя. Геометрическая интерпретация критерия существенности убывания целевой функции.
4. Определение функции, липшицевой на множестве D. Является ли липшицевой на $D = [0, 1]$ функция $\sqrt{x}$?Метод Пиявского – описание алгоритма. Демонстрация применения.
5. Определение первой вариации. Вывод вида первой вариации функционала для задач с закрепленными концами.

Зав. кафедрой ____________________________

Экзаменатор ____________________________

5.2.5. Типовые задачи, выносимые на экзамен для оценки сформированности компетенции ПК-3

Задачи применяются в качестве средства контроля на промежуточной аттестации в форме экзамена.

1. Задача из раздела «оптимальное управление»

Судно массы $m = 1$ совершает поступательное одномерное движение под действием двигателя, развивающего усилие $u(t)$, и испытывает сопротивление со стороны окружающей воды, равное скорости движения с обратным знаком. Усилие, развиваемое двигателем, ограничено по величине: $u(t) \in [-1,\ 1]$. Решить задачу синтеза управления, мягко (с нулевой скоростью) приводящего судно в точку с координатой 0 за минимальное время. Точка причаливания находится на прямой, вдоль которой перемещается судно.

2. Задача из раздела «оптимальное управление»

Построить область управляемости и синтезировать оптимальное по быстродействию управление в начало координат для управляемой динамической системы, описываемой системой дифференциальных уравнений:

$\dot{x} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} u(t)$, где вектор $u(t)$ принимает значение на отрезке, соединяющем точки $(-1,\ -2)$.и $(1,\ 2)$.

3. Задача из раздела «условия оптимальности в задачах математического программирования»

Выполнить анализ типа задачи, найти глобальный минимум:

$$min \quad 30y - 18xy - 10x + 11(x^2 + y^2)$$
$$1 + y \geq 0$$
$$x - 4y \leq -5$$
$$3x - y \leq -4$$

4. Задача из раздела «вариационное исчисление»

Найти экстремали в изопериметрической задаче на минимум функционала $min \int_0^{\pi} x \sin(t) dt$ при ограничениях $x(0) = 0,\ x(\pi) = \pi$ и дополнительном условии $\int_0^{\pi} \dot{x}(t) dt = 3\pi$.

5.2.6. Образцы содержания билетов для промежуточной аттестации в форме экзамена (проверка компетенции ПК-3)

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Институт Информационных технологий, математики и механики

Кафедра теории управления и динамики систем

Дисциплина «Методы оптимизации»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № **1**

1. Теорема Каруша–Куна–Таккера в дифференциальной форме для выпуклой регулярной задачи. Геометрическая интерпретация ситуации $\lambda_i < 0$ при разложении антиградиента целевой функции в выпуклой задаче при неверной гипотезе о наборе активных неравенств.
2. Пример использования уравнений Беллмана в задаче об оптимальном распределении ресурса с функциями эффективности вида $\alpha_k \sqrt{u_k}$

Зав. кафедрой ___________________________

Экзаменатор ____________________________

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Институт Информационных технологий, математики и механики

Кафедра теории управления и динамики систем

Дисциплина «Методы оптимизации»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № **2**

1. Понятие отделимости множества и точки. Первая теорема об отделимости.
2. Вывод необходимых условий экстремума первого порядка в простейшей задаче вариационного исчисления с закрепленными концами (включая вывод формулы для первой вариации применительно к задаче этого типа).

Зав. кафедрой ___________________________

Экзаменатор ____________________________

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
Институт Информационных технологий, математики и механики
Кафедра теории управления и динамики систем
Дисциплина «Методы оптимизации»
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № **3**

1. Понятие выпуклой, строго выпуклой функции. Критерий выпуклости дифференцируемой функции.
2. Понятие экстремума и экстремали в задачах вариационного исчисления. Вторая вариация. Теорема Лежандра и ее роль в решении вариационных задач.

Зав. кафедрой ___________________________

Экзаменатор ___________________________

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Городецкий С.Ю. Лекции по нелинейному математическому программированию: Учебно-методическое пособие. – Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2020. – 173с. Коллекция публикаций Фонда образовательных электронных ресурсов ННГУ: http://www.lib.unn.ru/students/src/Lectures_NonlinMathProg_2020-GorodetskySYu.pdf .
2. Городецкий С.Ю. Лекции по вариационному исчислению и оптимальному управлению: Учебно-методическое пособие. – Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2020. – 51с. Коллекция публикаций Фонда образовательных электронных ресурсов ННГУ: http://www.lib.unn.ru/students/src/Lectures_VarCalc&OptContr%20-%20GorodetskySYu.pdf .
3. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. Учебное пособие – 2-е изд. перераб. и доп. – М.:Наука,1988. (220 экз.)
4. Городецкий С.Ю., Гришагин В.А. Нелинейное программирование и многоэкстремальная оптимизация. Учебное пособие. Н.Новгород: изд-во ННГУ, 2007. – 489 с. (81экз.)
5. Карманов В.Г. Математическое программирование. Учебное пособие. – М.: Физматлит, 1986 или 2008. (136 экз.)
6. Гельфанд И.М., Фомин С.В. Вариационное исчисление. М.: Физматгиз,1961. — В форме электронного документа на сайте EdWorld «Мир математических уравнений», ИПМ РАН, 2004-2016, URL: http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/variational.htm – доступ свободный.
7. Краснов М.Л., Макаренко Г.И., Киселев А.И. Вариационное исчисление. М.:Наука, 1973. — В форме электронного документа на сайте EdWorld «Мир математических уравнений»/ ИПМ РАН, 2004-2016, URL: http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/variational.htm – доступ свободный.

б) дополнительная литература:

1. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. – М.: Мир, 1985. (45 экз).
2. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления – М.:Наука, 1969. (38экэ.)
3. Аттетков, А.В. Введение в методы оптимизации [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва: Финансы и статистика, 2011. — 272 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book

4 Измаилов, А.Ф. Численные методы оптимизации [Электронный ресурс]: монография / А.Ф. Измаилов, М.В. Солодов. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2008. — 320 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/2184.

5. Курант Р.,Гильберг Д. Методы математической физики,т.1, – М.:ГИТТЛ,1951. — В форме электронного документа доступна на сайте EdWorld «Мир математических уравнений», ИПМ РАН, 2004-2016, URL: http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/pde.htm – доступ свободный.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Городецкий С.Ю. Лабораторный практикум по методам локальной оптимизации в программной системе LocOpt. Электронный ресурс: http://www.unn.ru/e-library/aids.html?pscience=6&posdate=2007.
2. EqWorld. Мир математических уравнений / Разработчик – А. Д. Полянин. – М.: ИПМ РАН, 2004-2014. Электронный ресурс, содержащий электронные версии книг по вариационному исчислению в свободном доступе: http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/variational.htm – доступ свободный.
3. Электронная библиотечная система «Издательство Лань», 2016, URL: https://e.lanbook.com
4. Для поддержки курса разработаны компьютерные программные лаборатории «OptWay» и «LocOpt», установленные в учебном компьютерном классе лаборатории «Динамика и оптимизация» кафедры ТУиДС (ауд. 220, корп.2). Кроме того, при проведении лабораторных работ используются математические пакеты общего назначения, преимущественно MatCad v 14 или MatLab. Используемое программное обеспечение является лицензионным.
5. Современная цифровая образовательная среда РФ. [сайт]. Учебные курсы. URL: https://online.edu.ru/public/courses?faces-redirect=true

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения. Имеются компьютерные классы для выполнения лабораторных работ на 12 рабочих мест с установленным лицензионным программным обеспечением нужной комплектации (лаборатория 220 кафедры ТУиДС, корп.2). Презентационное оборудование для проведения обсуждений и компьютерных демонстраций (лаборатории 218, и 220 кафедры ТУиДС, корп.2).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Наличие рекомендованной литературы.

Используемое лицензионное программное обеспечение:

1. Операционные системы семейства Microsoft Windows, – лицензия по подписке MicrosoftImagine;
2. Комплекс учебно-исследовательских программ по дисциплине «Методы оптимизации»: программы LocOpt и OptWay, установленных в лаб. 220(2), 218(2) – разработанных в лаборатории «Динамика и оптимизация» каф.ТУиДС ИИТММ; разработка выполнена с использованием среды разработки C++Builder 2006 (приобретена в 2006/2007 гг при выполнении нац. проекта «Образование», ключ у системного администратора).
3. Математические пакеты Matlab, MatCAD, – лицензионное ПО приобретено в 2006/2007 гг по бессрочной лицензии при выполнении нац. проекта «Образование», ключ у системного администратора.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

Автор: к.ф.-м.н., доц. каф. ТУиДС Городецкий С.Ю.

Рецензент: д.т.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева Ломакина Л.С.

Заведующий кафедрой ТУиДС: д.ф.-м.н. Осипов Г.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики

от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.