

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Факультет Вычислительной математики и кибернетики



УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета ВМК
Соколов И.А. /
2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование модуля:

Межфакультетский курс «Оптимизационные методы искусственного интеллекта»

код и наименование дисциплины (модуля)

Уровень высшего образования:

бакалавриат, магистратура, специалитет

указывается: бакалавриат, магистратура или специалитет

Направление подготовки (специальность):

(код и название направления/специальности)

Направленность (профиль) ОПОП:

(если дисциплина (модуль) относится к вариативной части программы)

Форма обучения:

Очная с использованием дистанционных образовательных технологий

очная, очно-заочная, заочная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании Ученого совета факультета
(протокол № 1, 20.01.2023)

Москва 2023

На обратной стороне титула:

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки программы бакалавриата, магистратуры, специалитета.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП реализуется в рамках МФК.
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: не требуются.
3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями
<p>Новая УК ОС МГУ Способен осуществлять поиск, обработку и анализ данных с применением цифровых инструментов, в том числе с элементами программирования и технологий искусственного интеллекта.</p>	<p>УК-N (Ин.1ук) Знает основные понятия, классы задач теории математического программирования и методы их решения</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные понятия и классы задач теории математического программирования и теории расписаний, • современные архитектуры центров обработки данных и вычислительных систем реального времени, • задачи планирования вычислений в центрах обработки данных и вычислительных системах реального времени, • принципы построения алгоритмов имитации отжига, муравьиных алгоритмов, генетических и эволюционных алгоритмов, жадных алгоритмов, алгоритмов сочетающих жадные стратегии и ограниченный перебор, • задачи, которые необходимо решить при построении алгоритма для конкретной прикладной задачи оптимизации и методы их решения. <p>Уметь</p> <ul style="list-style-type: none"> • математически формулировать задачи условной оптимизации и планирования вычислений, • разрабатывать алгоритмы решения этих задач, • проводить теоретическое и экспериментальное исследование свойств алгоритмов. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методами оценки класса сложности задачи, • методами доказательства корректности алгоритмов, • методами оценки вычислительной сложности алгоритмов.
	<p>УК-N (Ин.2ук) Умеет применять стандартные алгоритмы и средства программирования для решения задач, связанных с решением задач оптимизации</p>	
	<p>УК-N (Ин.3ук) Владеет методами и технологиями использования средств вычислительной техники для решения профессиональных задач, в том числе с применением технологий искусственного интеллекта</p>	

4. Объем дисциплины (модуля) 1 з.е., в том числе 24 академических часа на контактную работу обучающихся с преподавателем, 12 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.

5. Формат обучения: очное обучение с использованием *дистанционных образовательных технологий*

6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

Курс лекций относится к разделу искусственного интеллекта «Планирование и поиск решений в пространстве состояний» и представляет интерес для студентов естественнонаучных и гуманитарных факультетов, которые используют методы оптимизации в ходе выполнения ими научно-исследовательской работы. Для освоения материала требуются знания основ теории графов и основ теории вероятностей. В курсе рассматриваются алгоритмы оптимизации, опирающиеся на метод проб и ошибок: генетические и эволюционные алгоритмы, алгоритмы имитации отжига, муравьиные алгоритмы, алгоритмы случайного поиска (ненаправленного, направленного, направленного с самообучением). Рассматриваются теоретические основы построения алгоритмов, применение алгоритмов для решения задач планирования и построения расписаний. В лекциях приводятся простые и наглядные примеры, поясняющие теоретический материал.

Лекции имеют следующий план:

- Природная модель (идея построения алгоритма).
- Общая схема алгоритма и основные операции.
- Теоремы о сходимости и теоремы, поясняющие работоспособность алгоритма.
- Модификации алгоритма и причины их введения.
- Задачи, которые надо решить при построении алгоритма для решения конкретной задачи оптимизации.
- Пример построения алгоритма для конкретной задачи оптимизации.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы*</i>	Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Всего	Работа в среде электронного обучения	Всего
Тема 1. Классификация задач и алгоритмов математического программирования. <ul style="list-style-type: none"> • Задачи условной оптимизации и их классификация. • «Сложные» задачи условной оптимизации. • Пояснение и использование априорной информации о целевой функции и функциях ограничениях для построения алгоритма (на примере задач линейного программирования, симплекс метод). • Задачи комбинаторной оптимизации. Задача коммивояжера. • Задача о рюкзаке: содержательная и математическая формулировка, частные задачи, пример жадного алгоритма оптимального для непрерывной задачи и приближенного для дискретной задачи. 	6	4				4	2	2
Тема 2. Задачи планирования вычислений в ЦОД и ВСРВ. Архитектура ЦОД. Характеристики физических ресурсов. Типы виртуальных ресурсов и их характеристики. Модели обслуживания. Жизненный цикл виртуального ресурса. Соглашения об уровне обслуживания (Service Level Agreement (SLA)). Политики размещения виртуальных ресурсов.	3	2				2	1	1

<p>Задача размещения виртуальных ресурсов для модели обслуживания IaaS (содержательная формулировка).</p> <p>Примеры архитектур ИУС РВ: Комплекс бортового оборудования (КБО) самолета F-22. КБО МКС.</p> <p>Режим работы КБО, требования к выполнению задач в реальном времени, большой цикл.</p> <p>Предобработка информации, первичная и вторичная обработка информации.</p> <p>Федеративные архитектуры.</p> <p>Цель разработки новых архитектур и технологий построения КБО.</p> <p>ИМА: подходы к достижению целей и стандарты.</p> <p>Задачи планирования вычислений в КБО с архитектурой ИМА.</p> <p>Проблемы переноса программ первичной обработки информации в единый вычислитель (на примере локационных систем).</p>								
<p>Тема 3. Алгоритмы имитации отжига.</p> <p>Вероятностный закон принятия нового решения текущим. Общая схема алгоритма. Законы понижения температуры.</p> <p>Скорость сходимости. Динамический закон понижения температуры.</p> <p>Алгоритм ИО для построения многопроцессорных расписаний:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Математическая формулировка задачи построения многопроцессорных расписаний. • Ярусная форма представления расписаний. • Система операций преобразование расписаний, теорема о ее замкнутости и полноте, доказательство теоремы. • Метрика в пространстве корректных расписаний. • Направленные стратегии применения 	9	6				6	3	3

<p>операций преобразования расписаний. Параллельный алгоритм имитации отжига. 1. Способы распараллеливания алгоритмов ИО. 2. Параллельный алгоритм ИО для построения многопроцессорных расписаний:</p> <ul style="list-style-type: none"> • разбиение пространства расписаний на области, • модификация операций преобразования расписаний, • распределение областей по вычислительным узлам и схема отсечения областей. • эффективность параллельного алгоритма по критериям точность и вычислительная сложность. • Эффективность псевдопараллельного алгоритма по критериям точность и вычислительная сложность. 								
<p>Тема 4. Алгоритмы случайного поиска. 1. Основы методов случайного поиска, общая схема алгоритма и ее параметры. 2. Алгоритмы направленного случайного поиска:</p> <ul style="list-style-type: none"> • алгоритм наилучшей пробы, • алгоритм с парной пробой, • алгоритм с возвратом при неудачном шаге, алгоритм с линейной экстраполяцией. <p>3. Алгоритмы случайного направленного поиска с самообучением:</p> <ul style="list-style-type: none"> • принципы построения алгоритмов, • способы самообучения, • устранение положительной обратной связи. 	6	4				4	2	2
<p>Тема 5. Генетические и эволюционные алгоритмы (ГА).</p>	12	8				8	4	4

<p>Муравьиные алгоритмы (МА). Области успешного применения ГА. Генетический алгоритм Холланда. Теорема схем и гипотеза строительных блоков. Примеры модификации операций генетического алгоритма и объяснение целей их введения с точки зрения теоремы схем и гипотезы строительных блоков. ГА с самообучением. Биологическая модель МА. МА для решения задачи коммивояжера. Использование МА для построения расписаний. Недостатки базового МА и его модификации. МА построения расписания обменов по каналу с централизованным управлением на основе схемы муравьиных колоний. МА построения многопроцессорного расписания. МА минимизации суммарного запаздывания работ.</p>								
Итого:	36	24				24	12	12

7. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

Вопросы к зачету.

1. Классификация задач условной оптимизации. Понятие комбинаторных задач условной оптимизации и проблемы применения для их решения оптимальных и эвристических алгоритмов, использующих априорно известные свойства о целевой функции и функциях ограничений.
2. Классические задачи комбинаторной оптимизации: задача о рюкзаке и задача коммивояжера (симметричная задача коммивояжера, асимметричная задача коммивояжера, метрическая задача коммивояжера).
3. Задачи построения расписаний и их классификация.
4. Задача построения расписания обменов по шине с централизованным управлением (на примере стандарта MIL-STD 1533B).
5. Алгоритм направленного случайного поиска с парной пробой. Алгоритм наилучшей пробы.
6. Алгоритм направленного случайного поиска с возвратом при неудачном шаге.
7. Алгоритм направленного случайного поиска с пересчетом при неудачном шаге.

8. Алгоритм направленного случайного поиска с линейной экстраполяцией.
9. Алгоритм статистического градиента.
10. Принципы построения алгоритмов случайного направленного поиска с самообучением. Самообучение методом исключения. Покоординатное экспоненциальное обучение. Алгоритм покоординатного самообучения с произвольным законом изменения вероятности.
11. Принципы построения алгоритмов случайного направленного поиска с самообучением. Способы решения проблемы передетерминирования алгоритма, повышения чувствительности алгоритма к выбору наилучшего направления, способы устранения положительной обратной связи.
12. Концепция построения алгоритмов имитации отжига. Общая схема алгоритмов и проблемы построения алгоритмов для решения задач условной оптимизации.
13. Асимптотическая сходимости алгоритмов имитации отжига: описание поведения алгоритма имитации отжига цепью Маркова, теоремы о сходимости, скорость сходимости.
14. Методы распараллеливания алгоритмов имитации отжига: асинхронный параллельный алгоритм, параллельный алгоритм с синхронизацией, алгоритм, основанный на декомпозиции целевой функции, подходы, основанные на декомпозиции пространства решений.
15. Алгоритм имитации отжига для решения задачи построения статических многопроцессорных расписаний с минимальным временем выполнения на заданном числе процессоров: математическая формулировка задачи, способы представления расписания и операций его преобразования, стратегии применения операций преобразования текущего решения.
16. Параллельный алгоритм имитации отжига для построения статических многопроцессорных расписаний: разбиение исходного пространства решений на области, операции преобразования расписания внутри области, распределение областей по узлам вычислительной системы.
17. Простой генетический алгоритм (алгоритм Холланда).
18. Теория схем. Гипотеза строительных блоков.
19. Генетический алгоритм для решения задачи определения минимально необходимого числа процессоров и построения расписания выполнения функциональных задач со временем выполнения не превышающим заданный директивный срок: математическая формулировка задачи, кодирование решений, операции генетического алгоритма, функция выживаемости и критерий останова.
20. Муравьиные алгоритмы: концепция построения алгоритмов (биологическая модель), общая схема работы муравьиных алгоритмов.
21. Модификации муравьиных алгоритмов: максиминный алгоритм, алгоритм с поглощением феромона, совместное использование с алгоритмами локального поиска, элитные муравьи, ранговый алгоритм, список кандидатов.

22. Муравьиный алгоритм для решения задачи построения статико-динамических расписания.
23. Муравьиный алгоритм для решения задачи построения расписания обменов по шине с централизованным управлением (схема с подциклами).
24. Жадные алгоритмы: общая схема, оптимальный алгоритм построение расписания выполнения работ в одноприборном устройстве, доказательство оптимальности алгоритма.
25. Алгоритмы, сочетающие жадные стратегии и стратегии ограниченного перебора: общая схема, процедуры ограниченного перебора.
26. Самоорганизующаяся облачная платформа: архитектура и язык описания запросов для создания виртуальных сетей.
27. Методика статистической обработки результатов экспериментов по исследованию свойств алгоритмов.

Типовые контрольные задания для проведения текущего контроля успеваемости.

1. Построить, обосновать корректность и завершимость, реализовать и протестировать алгоритм имитации отжига для решения задачи определения минимально необходимого числа процессоров и построения расписания выполнения функциональных задач со временем выполнения не превышающим заданный директивный срок. Процессоры одинаковые по производительности и по функциональным возможностям, прерывания недопустимы, отношение частичного порядка на множестве работ произвольное, времена выполнения работ различные.
2. Реализовать и провести исследование свойств алгоритма имитации отжига для решения задачи построения статических многопроцессорных расписаний с минимальным временем выполнения на заданном числе процессоров. Алгоритм приведен в лекции. Для исследования свойств алгоритма использовать метод проверки статистических гипотез.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	СРЕДСТВА ОЦЕНИВАНИЯ	ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)			
		<i>Шкалы и критерии оценивания могут быть сформулированы как общие для всех дисциплин (модулей) и размещены в документе «Оценочные и методические материалы для контроля формирования компетенций у обучающихся в процессе освоения образовательной программы», входящем в состав ОПОП</i>			
		2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
Знать:					
Основные понятия и классы задач теории математического программирования и	Тестирование	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные	Сформированные систематические

теории расписаний				знания	знания
Современные архитектуры центров обработки данных и вычислительных систем реального времени	Тестирование	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Задачи планирования вычислений в центрах обработки данных и вычислительных системах реального времени	Тестирование	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Принципы построения алгоритмов имитации отжига, муравьиных алгоритмов, генетических и эволюционных алгоритмов, жадных алгоритмов, алгоритмов сочетающих жадные стратегии и ограниченный перебор	Тестирование	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Задачи, которые необходимо решить при построении алгоритма для конкретной прикладной задачи оптимизации и методы их решения	Тестирование	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Уметь:					
Математически формулировать задачи условной оптимизации и планирования вычислений	Тестирование	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Разрабатывать алгоритмы решения этих задач	Тестирование	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Проводить теоретическое и экспериментальное исследование свойств алгоритмов	Тестирование	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Владеть:					
Методами оценки класса сложности задачи, методами доказательства корректности алгоритмов, методами оценки вычислительной сложности алгоритмов	Тестирование	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания

8. Ресурсное обеспечение:

Основная литература:

1. М. Мину. Математическое программирование. Теория и алгоритмы.- М.: Наука, 1990.
2. Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. Алгоритмы: построение и анализ. М.: МЦНМО, 1999.-960с.
3. Л.А. Растрингин. Статистические методы поиска.- М.: Наука, 1968.
4. Holland J.N. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor, Michigan: Univ. of Michigan Press, 1975.
5. Dorigo M. Optimization, Learning and Natural Algorithms. // PhD Thesis. Dipartimento di Elettronica, Politecnico Di Milano, Milano. 1992.
6. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. Теория и практика.- М.: Мир, 1992. – 240с.
7. Теория расписаний и вычислительные машины. Под ред. Э.Г. Коффмана. М.: Наука, 1984. 334 с.
8. Смелянский Р.Л. Модель функционирования распределенных вычислительных систем. // Вестн. Моск. Ун-та. сер 15, Вычисл. Матем. и Кибернетика. 1990, No. 3, стр. 3-21.
9. Костенко В.А. Алгоритмы построения расписаний для вычислительных систем реального времени, допускающие использование имитационных моделей // Программирование - 2013. - №5 - С.53-71.
10. Калашников А.В., Костенко В.А. Параллельный алгоритм имитации отжига для построения многопроцессорных расписаний // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2008. -№ 3 - С.133-142.
11. Вдовин, П.М. Зотов И.А, Костенко В.А., Плакунов А.В., Смелянский Р.Л. Сравнение различных подходов к распределению ресурсов в центрах обработки данных // Известия РАН. Теория и системы управления, 2014., № 4.
12. Вдовин, П.М., Костенко В.А. Алгоритм распределения ресурсов в центрах обработки данных с отдельными планировщиками для различных типов ресурсов // Известия РАН. Теория и системы управления, 2014., № 5.

Дополнительная литература:

1. Костенко В.А. Алгоритмы построения расписаний для одноприборных систем, входящих в состав систем реального времени // Методы и средства обработки информации. Труды третьей Всероссийской научной конференции. - М.: Издательский отдел факультета ВМиК МГУ имени М.В. Ломоносова; МАКС Пресс, 2009. - С.245-258.
2. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы: теория и применение// Программирование. 2005. №4.
3. Arinc Specification 653. Airlines Electronic Engineering Committee. [PDF] (<http://www.arinc.com>).
4. Государственный стандарт СССР «Интерфейс магистральной последовательной системы электронных модулей» ГОСТ 26765.52-87.
5. Костенко В.А., Гурьянов Е.С. Алгоритм построения расписаний обменов по шине с централизованным управлением и исследование его эффективности// Программирование, 2005., №6. - С.67-76.
6. Z. J. Czech. Parallel Simulated Annealing for the Delivery Problem. // Ninth Euromicro Workshop on Parallel and Distributed Processing. 2001. Mantova Italy. P 219-226.

7. Z. J. Czech. Parallel Simulated Annealing for the Delivery Problem. // Ninth Euromicro Workshop on Parallel and Distributed Processing. 2001. Mantova Italy. P 219-226.
8. Stefka Fidanova, Simulated Annealing for Grid Scheduling Problem // IEEE John Vincent Atanasoff 2006 International Symposium on Modern Computing (JVA'06). 2006. P 41-45.
9. D.Janaki Ram, T.H.Sreenivas, K.Ganapathy Subramaniam. Parallel Simulated Annealing Algorithms // Journal of parallel and distributed computing. 1996. №37. P 207-212.
10. Golberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1989.
11. Скобцов Ю.А. Основы эволюционных вычислений. Донецк.: ДонНТУ, 2008.- 326с.
12. Костенко В.А., Смелянский Р.Л., Трекин А.Г. Синтез структур вычислительных систем реального времени с использованием генетических алгоритмов// Программирование, 2000., №5, С.63-72.
13. Storn R., Price K. Minimizing the real functions of the ICEC'96 contest by differential evolution // IEEE Conference on Evolutionary Computation, Nagoya, 1996, pp. 842-844.
14. Kalyanmoy Deb and Mayank Goyal. A Combined Genetic Adaptive Search GeneAS for Engineering Design. Computer Science and Informatics, 26(4):30--45, 1996.
15. Костенко В. А., Плакунов А. В. Алгоритм построения одноприборных расписаний, основанный на схеме муравьиных колоний // Известия РАН. Теория и системы управления, 2013., № 6, С.87-96.
16. Д.А.Зорин, В.А.Костенко. Алгоритм синтеза архитектуры вычислительной системы реального времени с учетом требований к надежности // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2012. – № 3 - С.76–83.

Информационные справочные системы: <https://istina.msu.ru>
<http://elibrary.ru>

Материально-техническое обеспечение:

Программное обеспечение для подготовки слайдов лекций MS PowerPoint

Программное обеспечение для создания и просмотра pdf-документов Adobe Reader

Для преподавания дисциплины требуется класс, оборудованный маркерной или меловой доской и проектором.

9. Язык преподавания: Русский

10. Преподаватель (преподаватели): Костенко В.А. к.т.н., доцент, факультет ВМК МГУ

11. Разработчики программы: Костенко В.А. к.т.н., доцент, факультет ВМК МГУ