

**Федеральное государственное учреждение  
«Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской  
академии наук»  
(ФИЦ ИУ РАН)**

Утверждена

Ученым советом ФИЦ ИУ РАН,  
протокол № 1 от «27» ноября 2015 г.

Председатель Ученого совета,

директор ФИЦ ИУ РАН

И.А. Соколов

«30» ноября 2015 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

«Дискретная оптимизация»

**Направление подготовки**

02.06.01 Компьютерные и информационные науки

**Профиль (направленность программы)**

01.01.09 Дискретная математика и математическая кибернетика

**Квалификация выпускника**

Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Форма обучения**

очная

Москва, 2015

Направление подготовки: 02.06.01 Компьютерные и информационные науки

Профиль (направленность программы): 01.01.09 Дискретная математика и математическая кибернетика

Дисциплина: «Дискретная оптимизация»

Форма обучения: очная

Рабочая программа составлена с учетом ФГОС ВО по направлению подготовки 01.01.09  
Дискретная математика и математическая кибернетика, утвержденного приказом  
Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 года № 864,  
зарегистрировано в Минюсте Российской Федерации 20 августа 2014 года № 33703.

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РЕКОМЕНДОВАНА

Отделом интеллектуальных систем ФИЦ ИУ РАН

Руководитель отдела К.В. Воронцов /Воронцов К.В./  
«21» 11 2015г.

ИСПОЛНИТЕЛИ (разработчики программы):

д.ф.-м.н., проф. М.А. Посыпкин

Рабочая программа зарегистрирована в аспирантуре под учетным номером  
39 на правах учебно-методического издания.

Начальник отдела докторантury и аспирантуры С.И. Клименко / Клименко С.И. /  
02.12.15

## **Оглавление**

АННОТАЦИЯ .....	4
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	4
2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	6
3.1. Структура дисциплины.....	6
3.2. Содержание разделов дисциплины .....	7
3.3. Семинарские занятия .....	9
3.4. Практические занятия .....	9
3.5. Самостоятельная работа аспирантов.....	9
4. ТЕКУЩАЯ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ.....	10
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	12
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	13

## **АННОТАЦИЯ**

Дисциплина «Дискретная оптимизация» реализуется в рамках Блока 1 дисциплины по выбору Основной профессиональной образовательной программы высшего образования - программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН) по направлению подготовки 02.06.01 Компьютерные и информационные науки, профиль (направленность программы) 01.01.09 Дискретная математика и математическая кибернетика аспирантам очной формы обучения.

Рабочая программа разработана с учетом требований ФГОС ВО по направлению подготовки 02.06.01 Компьютерные и информационные науки, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 года № 864, зарегистрировано в Минюсте Российской Федерации 20 августа 2014 года № 33703.

Основным источником материалов для формирования содержания программы являются: материалы конференций, симпозиумов, семинаров, Интернет-ресурсы, научные издания и монографические исследования и публикации.

Общая трудоемкость дисциплины по учебному плану составляет - 3 зач.ед. (108 часов), из них лекций - 36 час., семинарских занятий – 0 час., практических занятий – 0 час. и часов самостоятельной работы – 36 час. Дисциплина реализуется на 1 курсе, 1 семестр, продолжительность обучения – 1 семестр.

Текущая аттестация проводится не менее 2 раз в соответствии с заданиями и формами контроля, предусмотренными настоящей программой.

Промежуточная оценка знания осуществляется в период зачетно-экзаменационной сессии в форме: экзамена.

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Цели и задачи дисциплины «Дискретная оптимизация»**

**Цель:**

Целью дисциплины является ознакомление аспирантов с основными сведениями о предмете и моделях дискретного программирования;

- изучение теоретических основ предмета: целочисленных, многограных множеств; современной теории множеств; теории графов; задач транспортного типа; комбинаторных и приближенных методов решения задач дискретного программирования; понятия о задачах большой размерности и алгоритмах их решения;

- развитие навыков разработки алгоритмов и практического решения прикладных задач дискретной оптимизации.

**Задачи:**

- освоение аспирантами базовых знаний (понятий, концепций, методов и моделей),
- приобретение теоретических знаний и практических умений и навыков, проведение собственных теоретических исследований,
- консультирование студентов в области машинного обучения и интеллектуального анализа данных.

## **2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Процесс изучения дисциплины «Дискретная оптимизация» направлен на формирование компетенций или отдельных их элементов в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 02.06.01 Информатика и вычислительная техника, профиль

(направленность программы) 01.01.09 Дискретная математика и математическая кибернетика аспирантам очной формы обучения:

а) универсальных (УК)

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности (УК-5);
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6).

б) общепрофессиональных (ОПК):

- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- готовность организовать работу исследовательского коллектива в области профессиональной деятельности (ОПК-4);
- способность представлять полученные результаты научно-исследовательской деятельности на высоком уровне и с учетом соблюдения авторских прав (ОПК-6);
- владение методами проведения патентных исследований, лицензирования и защиты авторских прав при создании инновационных продуктов в области профессиональной деятельности (ОПК-7);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-8).

в) профессиональных (ПК):

- готовность использовать знание основных методов искусственного интеллекта в последующей профессиональной деятельности в качестве научных сотрудников, преподавателей вузов, инженеров, технологов (ПК-1);
- готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности в области моделирования и анализа сложных естественных и искусственных систем (ПК-3);
- способность к созданию математических и информационных моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере (ПК-4);
- способность применять на практике умения и навыки в организации исследовательских работ и проводить научные исследования, готовность к участию в инновационной деятельности (ПК-5).

**В результате освоения дисциплины «Дискретная оптимизация» обучающийся должен:**

**Знать:**

- основные классы задач дискретной оптимизации, основы теории комбинаторных методов, точных и приближенных методах их решения;
- основные алгоритмы решения задач дискретной оптимизации.

**Уметь:**

- формализовать прикладные задачи как задачи дискретной оптимизации;
- применять изученные алгоритмы для решения конкретных задач;

- использовать имеющиеся в программном обеспечении стандартные средства для решения задач дискретной оптимизации;
- при необходимости, продиктованной особенностями прикладной задачи, самостоятельно разрабатывать специализированные методы дискретной оптимизации;
- анализировать качество и вычислительную сложность получаемых решений;
- проводить численные эксперименты на модельных и реальных данных и интерпретировать их результаты;
- представлять результаты исследований в устной и письменной форме.

**Владеть:**

- навыками программной реализации методов дискретной оптимизации;
- приемами решения задач дискретной оптимизации;
- стандартными инструментальными средствами решения типовых задач дискретной оптимизации;
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов;
- предметным языком математического программирования и дискретной оптимизации, навыками описания решения задач и представления полученных результатов.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Структура дисциплины

В курсе рассматриваются основные классы задач и методов дискретной оптимизации. Изучаются методы их решения, особенности алгоритмической реализации, вопросы вычислительной сложности и точности приближённых решений, стандартные инструментальные средства. Упор делается на глубокое понимание математических основ, взаимосвязей, достоинств и ограничений рассматриваемых методов. Отдельные теоремы приводятся с доказательствами.

#### Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебных работ

Вид учебной работы	Трудоемкость					
	общая		Из них			
	Зач. Ед.	Час.	Лекц.	Прак.	Сем.	Сам.р.
<b>ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ по Учебному плану</b>	3	108	36			36
<i>Аудиторные занятия</i>						
Лекции (Л)	1	36	36			
Практические занятия (ПЗ)						
Семинары (С)						
<i>Самостоятельная работа (СР) без учёта промежуточного контроля:</i>						
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к семинарским и практическим занятиям) и самостоятельное изучение тем дисциплины	1	36				36
<b>Вид контроля:</b> экзамен (является составной	1	36				

### 3.2. Содержание разделов дисциплины

#### Общее содержание дисциплины

№ раздела	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Количество часов
1	Общие сведения о задачах дискретной оптимизации	<p>1.1 Введение в предмет. Классификация задач и методов дискретной оптимизации</p> <p>1.2 Постановка и особенности задач дискретного программирования, характеристика методов решения. Целочисленные многогранные множества различных типов, условие целочисленности.</p>	8
2	Основные модели задач дискретной оптимизации: транспортного типа; о назначениях; коммивояжере; ранцевые; теории графов; о покрытиях и др.	<p>2.1 Модели дискретной оптимизации. Транспортная задача. Условие разрешимости. Другие задачи транспортного типа.</p> <p>2.2 Задача о назначениях. Задача коммивояжера. Ранцевые модели, их исследование и решение задач рацебового типа (одномерный и многомерный ранец).</p> <p>2.3 Модели теории графов: задачи о раскраске графов. Модели задач о покрытиях и их применение.</p>	12
3	Комбинаторные методы решения задач дискретной оптимизации: ветвей и границ, динамического программирования, алгоритмы гарантированного функционирования; локальной оптимизации и др.	<p>3.1 Общие сведения о комбинаторных алгоритмах решения задач дискретной оптимизации.</p> <p>3.2 Метод ветвей и границ; решение задач целочисленного линейного программирования методами типа «ветвей и границ». Применение метода ветвей и границ для задачи коммивояжера, ранца. Некоторые вопросы вычислительной реализации алгоритмов с древовидной схемой поиска оптимального решения.</p> <p>3.3 Алгоритмы динамического программирования, их применение для решения конкретных задач: распределения ресурсов между проектами; задаче о ранце и др.</p>	20

		3.4 Алгоритмы гарантированного функционирования; методы локальной оптимизации.	
4	Приближенные методы и алгоритмы дискретной оптимизации	4.1 Постановка задач о нахождении приближенного решения задачи дискретной оптимизации. Эпсилон-оптимальный алгоритм ветвей и границ для задаче о ранце. 4.2 Комбинированные алгоритмы типа ветвей и границ и их применение для решения некоторых задач. 4.3 Использование локальной оптимизации в приближенных алгоритмах дискретного программирования, эвристические алгоритмы.	12
5	Задачи дискретной оптимизации большой размерности	5.1 Постановка и исследование задач дискретной оптимизации большой размерности, параметризация. 5.2 Задачи о коммивояжере и ранце как примеры задач большой размерности, другие задачи большой размерности. Некоторые вопросы параллельной реализации комбинаторных алгоритмов для задач дискретной оптимизации.	16

### Лекционный курс

Порядковый номер лекции	Раздел, тема учебного курса, содержание лекции	Трудоемкость	
		час.	зач. ед.*
1	1. Общие сведения о задачах дискретной оптимизации 1.1 Введение в предмет. Классификация задач и методов дискретной оптимизации	2	
2	1.2 Постановка и особенности задач дискретного программирования, характеристика методов решения. Целочисленные многогранные множества различных типов, условие целочисленности.	2	
3	2. Основные модели задач дискретной оптимизации 2.1 Модели дискретной оптимизации. Транспортная задача. Условие разрешимости. Другие задачи транспортного типа.	4	
4	2.2 Задача о назначениях. Задача коммивояжера.	4	
5	Ранцевые модели, их исследование и решение задач рацебого типа (одномерный и многомерный ранец). 2.3 Модели теории графов: задачи о раскраске графов. Модели задач о покрытиях и их применение.	4	

	3. Комбинаторные методы решения задач дискретной оптимизации. 3.1 Общие сведения о комбинаторных алгоритмах решения задач дискретной оптимизации.	4	
6	3.2 Метод ветвей и границ; решение задач целочисленного линейного программирования методами типа «ветвей и границ». Применение метода ветвей и границ для задачи коммивояжера, ранца. Некоторые вопросы вычислительной реализации алгоритмов с древовидной схемой поиска оптимального решения.	8	
7-8	3.3 Алгоритмы динамического программирования, их применение для решения конкретных задач: распределения ресурсов между проектами; задаче о ранце и др.	4	
9	3.4 Алгоритмы гарантированного функционирования; методы локальной оптимизации.	4	
10	4. Приближенные методы и алгоритмы дискретной оптимизации	4	
11	4.1 Постановка задач о нахождении приближенного решения задачи дискретной оптимизации. -оптимальный алгоритм ветвей и границ для задаче о ранце.	4	
12	4.2 Комбинированные алгоритмы типа ветвей и границ и их применение для решения некоторых задач.	4	
13	4.3 Использование локальной оптимизации в приближенных алгоритмах дискретного программирования, эвристические алгоритмы.	4	
14-16	5. Задачи дискретной оптимизации большой размерности 5.1 Постановка и исследование задач дискретной оптимизации большой размерности, параметризация.	8	
16-17	5.2 Задачи о коммивояжере и ранце как примеры задач большой размерности, другие задачи большой размерности. Некоторые вопросы параллельной реализации комбинаторных алгоритмов для задач дискретной оптимизации.	8	
<b>ИТОГО</b>		<b>68</b>	1,9

### **3.3. Семинарские занятия**

Не предусмотрены

### **3.4. Практические занятия**

Не предусмотрены

### **3.5. Самостоятельная работа аспирантов**

Внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов включает следующие виды деятельности:

- конспектирование и реферирование первоисточников и другой научной и учебной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе);
- изучение учебного материала, перенесенного с аудиторных занятий на самостоятельную проработку.

**Содержание и объем самостоятельной работы аспирантов**

Разделы и темы рабочей программы самостоятельного изучения	Перечень домашних заданий и других вопросов для самостоятельного изучения	Сроки выполнения (№ недели)	Трудоемкость	
			час.	зач. ед.
Общие сведения о задачах дискретной оптимизации	Проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе)	1-2н	6	0,2
Основные модели задач дискретной оптимизации: транспортного типа; о назначениях; коммивояжере; ранцевые; теории графов; о покрытиях и др.	Проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе)	3-5н	6	0,2
Комбинаторные методы решения задач дискретной оптимизации: ветвей и границ, динамического программирования, алгоритмы гарантированного функционирования; локальной оптимизации и др.	Проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе)	6-10н	8	0,3
Приближенные методы и алгоритмы дискретной оптимизации	Проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе)	11-13н	8	0,3
Задачи дискретной оптимизации большой размерности	Проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе)	14-17н	8	0,3

#### **4. ТЕКУЩАЯ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**Текущая аттестация аспирантов.** Текущая аттестация аспирантов проводится в соответствии с локальным актом ФИЦ ИУ РАН - Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов ФИЦ ИУ РАН по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме опроса, а также оценки вопроса-ответа в рамках участия обучающихся в дискуссиях и различных контрольных мероприятиях по оцениванию фактических результатов обучения, осуществляемых преподавателем, ведущим дисциплину.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина – активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;

- степень усвоения теоретических знаний и уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы, проводимых в рамках семинаров, практических занятий и самостоятельной работы.

Оценивание обучающегося на занятиях осуществляется с использованием нормативных оценок по 4-х бальной системе (5-отлично, 4-хорошо, 3-удовлетворительно, 2-не удовлетворительно).

**Промежуточная аттестация аспирантов.** Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине проводится в соответствии с локальным актом ФИЦ ИУ РАН - Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов ФИЦ ИУ РАН по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется в форме зачета в период зачетно-экзаменационной сессии в соответствии с Графиком учебного процесса по приказу (распоряжению заместителя директора по научной работе). Аспирант допускается к зачету в случае выполнения аспирантом всех учебных заданий и мероприятий, предусмотренных настоящей программой. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий) аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

**Оценивание аспиранта на промежуточной аттестации в форме экзамена.**

Форма контроля знаний: решение задач по индивидуальному заданию преподавателя.

Решаются задачи, данные преподавателем по итогам лекционных занятий (из учебного пособия или из других источников). Аспирант выполняет программную реализацию алгоритма дискретной оптимизации, проводит эксперимент на конкретном тестовом примере и оформляет результат в виде краткого письменного отчета.

<b>Оценка экзамена (нормативная)</b>	<b>Требования к знаниям и критерии выставления оценок</b>
Отлично	Аспирант при ответе демонстрирует знание содержания тем учебной дисциплины, владеет основными понятиями дискретной оптимизации, предметным языком дискретной оптимизации, навыками описания решения задач и представления полученных результатов, изучил основные современные подходы, и методы дискретной оптимизации. Информирован и способен делать анализ проблем и намечать пути их решения
Хорошо	Аспирант при ответе демонстрирует знание содержания тем учебной дисциплины, владеет основными понятиями дискретной оптимизации, предметным языком дискретной оптимизации, изучил основные современные подходы, и методы дискретной оптимизации. Информирован и способен делать анализ проблем и намечать пути их решения
Удовлетворительно	Аспирант при ответе демонстрирует знание содержания тем учебной дисциплины, владеет основными понятиями дискретной оптимизации, владеет предметным языком дискретной оптимизации. Информирован и способен делать анализ проблем и намечать пути их решения
Не удовлетворительно	Аспирант при ответе демонстрирует плохое знание значительной части основного материала. Не информирован или слабо разбирается в проблемах, и или не в состоянии наметить пути их решения.

**Вопросы для контроля:**

1. Формулировка общей постановки задачи оптимизации. Формулировка задачи о назначениях.
2. Определение гамильтонова цикла в графе. Формулировка задачи коммивояжёра.
3. Схема алгоритма локального поиска. Доказать, что алгоритм локального поиска при использовании 2-окрестностей в задаче коммивояжёра не гарантирует нахождение глобального минимума.

4. Формулировка задачи об оствомном дереве минимального веса. Алгоритм, решающий эту задачу.
5. Определение матроида. Три примера матроидов. Формулировка и доказательство теоремы об оптимальности жадного алгоритма на матроиде.
6. Формулировка и доказательство леммы об изолировании.
7. Определения классов RP, co-RP, ZPP, BPP. Доказательство вложенности класса ZPP в RP и в co-RP.
8. Доказательство леммы Шварца—Зиппеля.
9. Алгоритм проверки существования совершенного паросочетания в двудольном графе. Доказательство его корректности.
10. Параллельный вероятностный алгоритм нахождения совершенного паросочетания в графе. Доказательство его корректности.
11. Понятие приближающего алгоритма.
12. Формулировка метрической задачи коммивояжёра и алгоритма Кристофицеса для приближённого решения этой задачи.
13. Формулировка евклидовой задачи коммивояжёра.
14. Приближающий алгоритм для евклидовой задачи коммивояжёра.
15. Определение симметрических элементарных и ньютоновых многочленов.
16. Алгоритм Чанского вычисления определителя матрицы.
17. Способ построения схем полилогарифмической глубины для выполнения сложения.
18. Способ построения схем полилогарифмической глубины для выполнения умножения.
19. Общая схема генетического алгоритма.
20. Общая схема «муравьиного» алгоритма.
21. Формулировка задачи целочисленного линейного программирования.
22. Методы отсекающей гиперплоскости, и ветвей и границ для решения задач ЦЛП?
23. Онлайновый алгоритм GREEDY для задачи построения многопроцессорного расписания.
24. Задачи построения расписания и балансировки нагрузки, а также алгоритмы IMBALANCE и ROBIN HOOD для их решения.
25. Формулировка задачи о назначениях.
26. Определение гамильтонова цикла в графе. Формулировка задачи коммивояжёра.
27. Формулировка задачи об оствомном дереве минимального веса.
28. Определение матроида. Пример матроида. Формулировка теоремы о корректности работы жадного алгоритма на матроиде.
29. Алгоритм Эдмондса поиска паросочетания в произвольном графе.
30. Алгоритм Форда—Фалкерсона.
31. Схема алгоритма локального поиска.
32. Формулировка метрической задачи коммивояжёра и алгоритма Кристофицеса для приближённого решения этой задачи.
33. Метод отсекающей гиперплоскости для решения задач ЦЛП?

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

- [1] Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. Учебное пособие. – 2-е изд. испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007 – 304 с.
- [2] Корнеенко В.П. Методы оптимизации: Учебник / М.: Высшая школа. 2007 – 664 с.
- [3] Хачатуров В.Р., Веселовский В.Е., Злотов А.В. и др. Комбинированные методы и алгоритмы решения задач дискретной оптимизации большой размерности. – М.: Наука, 2000 – 360 с.

### **Дополнительная литература**

- [4] Белоусов А.И, Ткачев С.Б. Дискретная математика. Учебное пособие. – 3-е, стереотипное – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2004. 743 с.

- [5] Вагнер Г. Основы исследования операций. Т. 2. – М.: Мир, 1973.
- [6] Вентцель Е.С. Элементы динамического программирования. – М.: Наука, 1964.
- [7] Гольштейн Е.Г., Юдин Д.Б. Задачи линейного программирования транспортного типа. – М.: Наука, 1969.
- [8] Зуховицкий С.И., Авдеева Л.И. Линейное и выпуклое программирование: Справочное руководство.– М.: Наука, 1967.
- [9] Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование. – М.: Наука, 1969.
- [10] Коган Д.И. Динамическое программирование и дискретная многокритериальная оптимизация. Учебное пособие – Н.Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского. 2005. – 260 с.
- [11] Мудров В.И. Задача коммивояжера. – М.: Знание, 1969.
- [12] Сигал И.Х. Задача о рюкзаке: теория и вычислительные алгоритмы. – М.: МИИТ. 1999.
- [13] Сигал И.Х. Приближенные методы алгоритмов дискретной оптимизации. – М.: МИИТ. 2000.
- [14] Таха Х.А. Введение в исследование операций. 6-е издание – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. 912 с.
- [15] Финкельштейн Ю.Ю. Приближенные методы и прикладные задачи дискретного программирования. – М.: Наука, 1976.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования по специальности 01.01.09 программа специальности «Дискретная математика и математическая кибернетика» предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерное моделирование и визуализация, разбор конкретных ситуаций) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

**ИСПОЛНИТЕЛИ (разработчики программы):**

д.ф.-м.н., проф. М.А. Посыпкин



« 21 » 11 2015 г.