

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»  
Кафедра теоретической информатики

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета информатики и  
вычислительной техники

  
(подпись)

Д.Ю.Чалый

« 18 » мая 20 21 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
«Дискретная математика и математическая кибернетика»

**Направление подготовки**  
01.06.01 Математика и механика

**Направленность (профиль)**  
«Дискретная математика и математическая кибернетика»

Форма обучения очная

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры  
от 27 апреля 2021 г.,  
протокол № 9

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ В.А. Соколов

Ярославль

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Дискретная математика и математическая кибернетика» являются:

- усвоение аспирантами знаний из основных разделов современной дискретной математики, о методах и аппарате дискретной математики, о подходах к разработке алгоритмов и о способах оценки сложности их выполнения;
- изучение вопросов применения понятий и методов дискретной математики в математике и ее приложениях;
- формирование у аспирантов общей математической культуры.

## 2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Дисциплина «Дискретная математика и математическая кибернетика» является обязательной дисциплиной вариативной части. Данная дисциплина направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по научной специальности 01.06.01 Математика и механика.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине – знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций и обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения программы аспирантуры, и критерии их оценивания

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения		
		Пороговый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
ПК-1	Способность овладевать новыми разделами дискретной математики и математической кибернетики	1. Знание классификации сложности вычислительных задач.	1. Знание классификации сложности вычислительных задач. 2. Умение определять класс сложности задачи.	1. Знание классификации сложности вычислительных задач. 2. Умение определять класс сложности задачи.
ПК-2	Способность формулировать новые конкурентоспособные идеи в области дискретной математики и математической кибернетики	1. Знание основных принципов построения дискретных математических моделей.	1. Знание основных принципов построения дискретных математических моделей. 2. Умение разрабатывать модели дискретной математики и математической кибернетики.	1. Знание основных принципов построения дискретных математических моделей. 2. Умение разрабатывать модели дискретной математики и математической кибернетики.
ПК-3	Способность самостоятельно проводить научные	1. Знание основных подходов к	1. Знание основных подходов к	1. Знание основных подходов к

	исследования в области дискретной математики и математической кибернетики и применять полученные результаты в научных исследованиях в других областях	разработке оптимизационных алгоритмов.	разработке оптимизационных алгоритмов. 2. Умение применять и анализировать оптимизационные алгоритмы.	разработке оптимизационных алгоритмов. 2. Умение применять и анализировать оптимизационные алгоритмы. 3. Владение навыками разработки оптимизационных алгоритмов.
ПК-5	Способность оформлять результаты своей научно-исследовательской деятельности в форме НКР по научной специальности	1. Владение аппаратом дискретной математики и математической кибернетики.	1. Владение аппаратом дискретной математики и математической кибернетики.	1. Владение аппаратом дискретной математики и математической кибернетики.

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 акад. часов.

Дисциплина изучается в течение четырех семестров. Формой итоговой промежуточной аттестации по дисциплине в последнем семестре ее изучения является кандидатский экзамен.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоятельная работа	Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
1.	Математическое программирование	2	2				15	
2.	Исследование операций, теория игр	2	2				15	
3.	Оптимальное управление	2	2				16	
4.	Дискретная оптимизация	2	2			2	16	
	Всего за 2 семестр		8			2	62	Зачёт
5.	Теория функциональных систем	3	2				10	
6.	Комбинаторный анализ и теория графов	3	2				10	
7.	Теория кодирования	3	2				10	
	Всего за 3 семестр		6				30	
8.	Управляющие системы	4	2				10	
9.	Дизъюнктивные нормальные формы	4	2				10	
10.	Синтез и сложность управляющих систем	4	2			2	8	
	Всего за 4 семестр		6			2	28	Зачёт
11.	Эквивалентные преобразования управляющих систем	5	2				20	
12.	Надежность и контроль функционирования управляющих систем	5	2				20	
13.	Математическая	5	2			2	24	

	экономика						
	Всего за 5 семестр		6			2	64 Экзамен
	<b>Всего</b>		<b>26</b>			<b>6</b>	<b>184</b>

### Содержание разделов дисциплины:

#### 1. Математическое программирование

1. Теоремы о достижении нижней грани функции (функционала) на множестве (в евклидовых пространствах, в метрических пространствах, в гильбертовых пространствах).
2. Выпуклые множества, выпуклые функции, сильно выпуклые функции, их свойства.
3. Критерии оптимальности в гладких выпуклых задачах минимизации.
4. Правило множителей Лагранжа.
5. Теорема Куна-Таккера, двойственная задача, ее свойства.
6. Метод проекции градиента (в евклидовых пространствах, в гильбертовом пространстве).
7. Метод Ньютона.
8. Метод покоординатного спуска.
9. Метод штрафных функций.
10. Метод барьерных функций.
11. Метод динамического программирования.
12. Устойчивость задач оптимизации. Метод стабилизации (регуляризация по Тихонову).
13. Линейное программирование. Симплекс-метод. Двойственные задачи линейного программирования.

#### 2. Исследование операций, теория игр

1. Антагонистические игры. Матричные игры, теорема о минимаксе.
2. Выпукло-вогнутые антагонистические игры. Теорема существования седловой точки.
3. Бескоалиционные игры  $n$  лиц. Равновесие по Нэшу.
4. Принцип гарантированного результата. Минимаксные задачи.
5. Многокритериальная оптимизация. Оптимальность по Парето. Лексикографический подход.
6. Кооперативные игры (с-ядро, вектор Шепли).
7. Задача распределения ресурсов (модель Гросса, принцип уравнивания Гермейера).
8. Иерархические игры.
9. Потоки в сетях (теорема Форда-Фалкерсона, задача и алгоритмы поиска кратчайшего пути в графе, задача составления расписаний, транспортная задача).

#### 3. Оптимальное управление

1. Постановка задач оптимального управления, их классификация.
2. Принцип максимума Понтрягина. Краевая задача принципа максимума.
3. Линейная задача быстрого действия, ее свойства (существование решения, число переключений).

4. Принцип максимума и вариационное исчисление.
5. Управляемость и наблюдаемость в линейных системах, их взаимосвязь (взаимодвойственность). Теоремы Калмана, Красовского.
6. Метод динамической регуляризации в задаче наблюдения.
7. Дифференциальные игры.

#### **4. Дискретная оптимизация**

1. Целочисленное линейное программирование (метод Гомори, свойства унимодулярности матрицы ограничений).
2. Метод ветвей и границ (на примере задач целочисленного или булева линейного программирования).
3. Временная сложность решения задач дискретной оптимизации. Основные классы сложности (P, NP, NPC).
4. NP-трудные задачи (задача о рюкзаке, задача коммивояжера).

#### **5. Теория функциональных систем**

1. Проблема полноты. Теорема о полноте систем функций двузначной логики.
2. Алгоритм распознавания полноты систем функций k-значной логики.
3. Теорема Слупецкого.
4. Особенности k-значных логик.
5. Автоматы. Регулярные события и их представление в автоматах.
6. Эксперименты с автоматами.
7. Алгоритмическая неразрешимость проблемы полноты для автоматов.
8. Вычислимые функции. Эквивалентность класса рекурсивных функций и класса функций, вычислимых на машинах Тьюринга.
9. Алгоритмическая неразрешимость проблемы эквивалентности слов в ассоциативных исчислениях.

#### **6. Комбинаторный анализ и теория графов**

1. Основные комбинаторные числа.
2. Оценки и асимптотики для комбинаторных чисел.
3. Графы и сети. Оценки числа графов и сетей различных типов.
4. Плоские и планарные графы. Формула Эйлера для плоских графов. Необходимые условия планарности в теореме Понтрягина-Куратовского (без доказательства достаточности).
5. Экстремальная теория графов. Теорема Турана.
6. Теорема Рамсея.

#### **7. Теория кодирования**

1. Алфавитное кодирование. Критерии однозначности декодирования. Неравенство Крафта-Макмиллана.
2. Оптимальное кодирование. Построение кодов с минимальной избыточностью.
3. Самокорректирующиеся коды. Граница упаковки. Коды Хемминга, исправляющие единичную ошибку.
4. Конечные поля и их основные свойства.
5. Коды Боуза—Чоудхури—Хоквингема.

#### **8. Управляющие системы**

1. Понятие управляющей системы.
2. Основные модельные классы управляющих систем: дизъюнктивные нормальные формы, формулы, контактные схемы, схемы из функциональных элементов, автоматы, машины Тьюринга, операторные алгоритмы.

3. Основные проблемы теории управляющих систем.

### **9. Дизъюнктивные нормальные формы**

1. Проблема минимизации булевых функций. Дизъюнктивные нормальные формы (ДНФ). Постановка задачи в геометрической форме.
2. Локальные алгоритмы построения ДНФ. Построение ДНФ «сумма тупиковых» с помощью локального алгоритма.
4. Невозможность построения ДНФ «сумма минимальных» в классе локальных алгоритмов.

### **10. Синтез и сложность управляющих систем**

1. Асимптотически оптимальный метод синтеза схем из функциональных элементов.
2. Асимптотически оптимальный метод синтеза контактных схем.
3. Инвариантные классы и их свойства.
4. Синтез схем для функций из некоторых инвариантных классов.
5. Нижние оценки сложности реализации булевых функций параллельно-последовательными контактными схемами.
6. Нижние оценки сложности реализации булевых функций формулами в произвольном базисе.

### **11. Эквивалентные преобразования управляющих систем**

1. Эквивалентные преобразования формул двузначной логики.
2. Эквивалентные преобразования контактных схем.
3. Эквивалентные преобразования операторных алгоритмов.
4. Пример Линдона.

### **12. Надежность и контроль функционирования управляющих систем**

1. Построение надежных контактных схем из ненадежных контактов.
2. Логический подход к контролю исправности и диагностике неисправностей управляющих систем. Тесты.

### **13. Математическая экономика**

1. Модель межотраслевого баланса В.В. Леонтьева. Продуктивные матрицы. Критерии продуктивности. Теорема Фробениуса-Перрона. Свойства числа Фробениуса-Перрона. Теорема об устойчивости примитивных матриц.
2. Динамическая модель В.В. Леонтьева. Теорема о магистрали Моришимы. Экономическая интерпретация вектора Фробениуса - Перрона.
3. Линейные задачи оптимального распределения ресурсов. Экономическая интерпретация двойственности в задачах линейного программирования.
4. Модель Кокса-Росса-Рубинштейна. Оценка стоимости опциона.
5. Модель олигополистической конкуренции Курно. Теорема Нэша..
6. Модель Эрроу-Дебре. Конкурентное равновесие. Сведение вопроса о существовании конкурентного равновесия к решению задачи дополненности. Замкнутость отображений спроса и предложения. Теорема Эрроу-Дебре.
7. Неподвижные точки. Теоремы Брауэра и Какутани. Лемма Гейла - Никайдо - Дебре. Теорема Фань-Цзы.
8. Оптимальность по Парето конкурентного равновесия (первая теорема теории благосостояния). Теорема Дебре (вторая теорема теории благосостояния). Сравнительная статика в моделях конкурентного равновесия.
9. Проблемы коллективного выбора. Парадокс Эрроу.
10. Индексы неравенства и кривая Лоренца. Теорема мажоризации.

## **5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует аспиранта в системе изучения данной дисциплины. Аспиранты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

**Академическая лекция** (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

**Консультации** – групповые занятия, являющиеся одной из форм контроля самостоятельной работы аспирантов. На консультациях по просьбе аспирантов рассматриваются наиболее сложные моменты в решении задач, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы, обсуждаются результаты решения заданий, выполненных аспирантами самостоятельно.

## **6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости).**

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- для формирования текстов материалов для промежуточной и текущей аттестации – программы Microsoft Office, издательская система LaTeX;
- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимых для освоения дисциплины**

### **а) основная литература**

1. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч., Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн; пер. с англ. И. В., Красикова, Н. А. Ореховой, В. Н. Романова. - 2-е изд. - М.: Вильямс, 2012. - 1290 с.

### **б) дополнительная литература**

1. Ахо А.В. Структуры данных и алгоритмы: Учеб. пособие для вузов / А. В. Ахо, Дж. Э. Хопкрофт, Дж. Д. Ульман. Пер. с англ. - М.: Вильямс, 2000. - 382 с.

2. Гэри. М. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи / М. Гэри, Д. Джонсон. Пер. с англ. - М.: Мир, 1982. – 416 с.
3. Рублев, В.С. Основы теории алгоритмов: учеб. пособие для вузов / В. С. Рублев; под ред. В. А. Соколова; Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "МГУ им. М. В. Ломоносова". - 2-е изд., испр. - М.: Научный мир, 2008. - 127 с.
4. Седжвик Р. Фундаментальные алгоритмы на C++; пер. с англ / Р. Седжвик. - М.: ДиаСофтЮП, 2002. - 687 с.
5. Вирт Н. Алгоритмы и структуры данных: Пер.с англ / Н.Вирт. - 2-е изд.,испр. - СПб.: Невский Диалект, 2001. - 352с.
6. Хаггарти Р. Дискретная математика для программистов: учеб. пособие для вузов / Р. Хаггарти; пер. с англ. ; под ред. С. А. Кулешова ; УМО вузов РФ по образованию в обл. прикладной математики. - 2-е доп. изд. - М.: Техносфера, 2005. - 399 с.
7. Яблонский С. В. Введение в дискретную математику: Учебное пособие для вузов. / С. В.Яблонский; М-во образования РФ - 4-е изд.,стереотип. - М.: Высшая школа, 2003. - 384с.
8. Кудрявцев В.В, Алешин С. В., Подколзин А. С. Введение в теорию автоматов. М.: Наука, 1985.
9. Мальцев А. И. Алгоритмы и рекурсивные функции. / А. И.Мальцев - 2-е изд. - М.: Наука, 1986. - 367с.
10. Оре О. Теория графов: пер. с англ. / О. Оре - М.: Наука, 1968. - 352 с.
11. Нигматуллин Р. Г. Сложность булевых функций. М.: Наука, 1991.
12. Лекции по теории графов: учеб. пособие для вузов. / В. А. Емеличев, О. И. Мельников, В. И. Сарванов, Р. И. Тышкевич; Гос. комитет СССР по народному образованию - М.: ЛИБРОКОМ; URSS, 2013. - 383 с.
13. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации. М.: Наука, 1986.
14. Васильев Ф.П. Методы оптимизации. М.: Факториал, 2002.
15. Карманов В.Г. Математическое программирование. М.: Наука, 2000.
16. Понтрягин Л. Избранные научные труды, т.II. М.: Наука, 1988.
17. Тихомиров В.М., Фомин С.В., Алексеев В.М. Оптимальное управление. М.: Наука, 1979.
18. Краснощеков П. С. Принципы построения моделей. / П. С. Краснощеков, А. А. Петров - 2-е изд., пересмотр. и доп. - М.: ФАЗИС : ВЦ РАН, 2000. - 411 с.
19. Подиновский В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин - М.: Наука, 1982. - 254 с.
20. Никайдо Х. Выпуклые структуры и математическая экономика. М.: Мир, 1972, 518с.
21. Ашманов С.А. Введение в математическую экономику. М.: Наука, 1984, 294с.
22. Экланд И. Элементы математической экономики. М.: Мир, 1983, 248с.
23. Обен Ж.-П. Нелинейный анализ и его экономические приложения. М.: Мир, 1988, 264с.

## **8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Лекционные аудитории, оснащенные оборудованием для проведения мультимедийных презентаций.

Автор(ы) :

Доцент кафедры дискретного анализа, к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ (подпись)

А.В. Николаев

**Приложение к №1 рабочей программе дисциплины  
«Дискретная математика и математическая кибернетика»**

**Оценочные средства  
для проведения текущей и/или промежуточной аттестации аспирантов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,  
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,  
характеризующих этапы формирования компетенций**

**Пример задания для зачета и экзамена**

**Компетенция ПК-1:**

1. В машине Тьюринга предписание  $L$  для лентопротяжного механизма означает:

- а) переместить ленту вправо;
- б) переместить ленту влево;
- в) остановить машину;
- г) занести в ячейку символ

2. Свойство алгоритма записываться только директивами однозначно и одинаково интерпретируемыми разными исполнителями:

- а) детерминированность;
- б) результативность;
- в) дискретность;
- г) понятность.

3. В машине Поста останов будет результативным:

- а) при выполнении недопустимой команды;
- б) если машина не останавливается никогда;
- в) если результат выполнения программы такой, какой и ожидался;
- г) по команде «Стоп».

4. Свойство алгоритма, что при точном исполнении всех предписаний процесс должен прекратиться за конечное число шагов с определенным ответом на поставленную задачу:

- а) понятность;
- б) детерминированность;
- в) дискретность;
- г) результативность.

5. Свойство алгоритма обеспечения решения не одной задачи, а целого класса задач этого типа:

- а) понятность;
- б) определенность;
- в) дискретность;
- г) массовость.

Вопрос №	Правильный ответ	Вопрос №	Правильный ответ
1	б	4	г
2	а	5	г

3	г		
---	---	--	--

### Оценка сформированности компетенции

Уровень формирования	Количество правильных ответов, критерии
Пороговый	Не менее 3
Продвинутый	Не менее 4
Высокий	Не менее 5

#### Компетенция ПК-2:

- В любом произвольном неорграфе число вершин нечетной степени
  - произвольно;
  - всегда четно;
  - всегда нечетно;
- Связность графа не меняется при удалении
  - циклового ребра;
  - перешейка.
- Цикломатическое число графа равно
  - количеству компонент связности
  - размерности пространства базисов циклов графа
  - максимальному количеству независимых циклов в графе
  - количеству ребер в цикле
- Максимальное значение энтропии источника, который порождает 16 различных символов равно:
  - 4
  - 1
  - нельзя определить
- Энтропия Шеннона обладает свойством:
  - аддитивности
  - ассоциативности
  - социальности
- Количество информации, содержащееся в двух статистически зависимых сообщениях, оценивается величиной:
  - энтропии Шеннона
  - условной энтропии
  - относительной энтропии
- Для оценки статистики источника сообщений используется:
  - скользящее окно
  - подвижное окно
  - пластиковое окно

Вопрос №	Правильный ответ	Вопрос №	Правильный ответ
----------	------------------	----------	------------------

1	б	5	а
2	а	6	б
3	в	7	а
4	а		

### Оценка сформированности компетенции

Уровень формирования	Количество правильных ответов, критерии
Пороговый	Не менее 5
Продвинутый	Не менее 6
Высокий	Не менее 7

#### Компетенция ПК-3:

1. Какой принцип лежит в основе методов исключения интервалов?

а) Постепенное сужение области допустимых значений целевой функции.

б) Последовательное уменьшение интервала поиска.

в) Последовательное превращение интервалов неопределенности в зону поиска оптимума целевой функции.

г) Последовательное увеличение интервала поиска.

2. Что такое градиент функции многих переменных?

а) Матрица перестановок.

б) Матрица Якоби

в) Матрица множества альтернатив.

г) Матрица Гессе.

3. Как называют методы оптимизации первого порядка?

а) Методами прямого поиска.

б) Градиентными.

в) Методами условного поиска.

г) Методами быстрого спуска.

4. Вид ограничений общей задачи линейного программирования – ...

а) уравнения и неравенства

б) только уравнения

в) только неравенства

г) только условия неотрицательности.

5. Область, в пределах которой выполняются все условия реализуемости называется ...

а) Областью САПР;

б) Областью Парето;

в) Областью работоспособности;

г) Все ответы правильные.

Вопрос №	Правильный ответ	Вопрос №	Правильный ответ
1	б	4	а

2	г	5	в
3	б		

### Оценка сформированности компетенции

Уровень формирования	Количество правильных ответов, критерии
Пороговый	Не менее 3
Продвинутый	Не менее 4
Высокий	Не менее 5

#### Компетенция ПК-5:

1. Какие требования предъявляются к научному тексту?

- а) увлекательность, яркость, четкость стиля
- б) логичность, ясность, доказательность
- в) красота, занимательность, историчность
- г) последовательность, полемичность, привлекательность

2. Почему нужно делать ссылки на использованные источники?

- а) чтобы показать свою эрудицию
- б) чтобы проявить уважение к своим предшественникам
- в) чтобы избежать обвинений в плагиате
- г) чтобы можно было проверить правильность использования источников

3. Какой критерий новизны научной работы является важнейшим?

- а) новизна использования
- б) новизна результатов
- в) новизна методологии
- г) новизна постановки вопроса

4. Синергетический метод относится к методам рациональным или иррациональным?

- а) это рациональный метод
- б) это иррациональный метод
- в) метод сочетает черты рациональной и иррациональной методологии

Вопрос №	Правильный ответ	Вопрос №	Правильный ответ
1	б	5	
2	б г	6	
3	б	7	
4	в		

### Оценка сформированности компетенции

Уровень формирования	Количество правильных
----------------------	-----------------------

	ответов, критерии
Пороговый	Не менее 2
Продвинутый	Не менее 3
Высокий	Не менее 4

Правила выставления оценки

### **Зачет**

**Оценка «Зачетно»** выставляется:

- аспиранту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом; осуществляет межпредметные связи, предложения, выводы; умеет обосновывать свои суждения и личностную позицию по излагаемому вопросу. Аспирант дает развернутые, полные и четкие ответы на поставленные вопросы (соответствует высокому уровню формирования компетенции);
- аспиранту, ответ которого в целом соответствует указанным выше критериям, но отличается меньшей глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим аспирантом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов преподавателя (соответствует продвинутому уровню формирования компетенции);
- аспиранту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на поставленные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. При ответе допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых понятий, формулировке положений, которые аспирант затрудняется исправить самостоятельно (соответствует пороговому уровню формирования компетенции).

### **Экзамен**

Оценка «отлично» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована на высоком уровне.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на продвинутом уровне.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, у которого хотя бы одна компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована ниже, чем на пороговом уровне.

## **2. Перечень компетенций, этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкалы оценивания**

### **2.1. Шкала оценивания сформированности компетенций и ее описание**

Оценивание уровня сформированности компетенций в процессе освоения дисциплины осуществляется по следующей трехуровневой шкале:

*Пороговый уровень* - предполагает отражение тех ожидаемых результатов, которые определяют минимальный набор знаний и (или) умений и (или) навыков, полученных аспирантом в результате освоения дисциплины. Пороговый уровень является обязательным уровнем для аспиранта к моменту завершения им освоения данной дисциплины.

*Продвинутый уровень* - предполагает способность аспиранта использовать знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности, полученные при освоении дисциплины, для

решения профессиональных задач. Продвинутый уровень превосходит пороговый уровень по нескольким существенным признакам.

*Высокий уровень* - предполагает способность аспиранта использовать потенциал интегрированных знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, полученных при освоении дисциплины, для творческого решения профессиональных задач и самостоятельного поиска новых подходов в их решении путем комбинирования и использования известных способов решения применительно к конкретным условиям. Высокий уровень превосходит пороговый уровень по всем существенным признакам.

**2.2. Перечень компетенций, этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования**

Код компетенции	Форма контроля	Этапы формирования (№ темы (раздела))	Показатели оценивания	Шкала и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования		
				Пороговый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
<b>Профессиональные компетенции</b>						
ПК-1	Зачет Экзамен	1 – 13	1. Знание классификации сложности вычислительных задач. 2. Умение определять класс сложности задачи	1. Знание классификации сложности вычислительных задач.	1. Знание классификации сложности вычислительных задач. 2. Умение определять класс сложности задачи	1. Знание классификации сложности вычислительных задач. 2. Умение определять класс сложности задачи
ПК-2	Зачет Экзамен	1 – 13	1. Знание основных принципов построения дискретных математических моделей. 2. Умение разрабатывать модели дискретной математики и математической кибернетики.	1. Знание основных принципов построения дискретных математических моделей.	1. Знание основных принципов построения дискретных математических моделей. 2. Умение разрабатывать модели дискретной математики и математической кибернетики.	1. Знание основных принципов построения дискретных математических моделей. 2. Умение разрабатывать модели дискретной математики и математической кибернетики.
ПК-3	Зачет Экзамен	1 – 13	1. Знание основных подходов к разработке оптимизационных алгоритмов. 2. Умение применять и анализировать оптимизационные алгоритмы.	1. Знание основных подходов к разработке оптимизационных алгоритмов.	1. Знание основных подходов к разработке оптимизационных алгоритмов. 2. Умение применять и анализировать оптимизационные алгоритмы.	1. Знание основных подходов к разработке оптимизационных алгоритмов. 2. Умение применять и анализировать оптимизационные алгоритмы. 3. Владение навыками

			3. Владение навыками разработки оптимизационных алгоритмов.			разработки оптимизационных алгоритмов.
ПК-5	Зачет Экзамен	1 – 13	1. Владение аппаратом дискретной математики и математической кибернетики.	1. Владение аппаратом дискретной математики и математической кибернетики.	1. Владение аппаратом дискретной математики и математической кибернетики.	1. Владение аппаратом дискретной математики и математической кибернетики.

### **3. Методические рекомендации преподавателю по процедуре оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Целью процедуры оценивания является определение степени овладения аспирантом ожидаемыми результатами обучения (знаниями, умениями, навыками и (или) опытом деятельности).

Процедура оценивания степени овладения аспирантом ожидаемыми результатами обучения осуществляется с помощью методических материалов, представленных в разделе «Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций»

#### **3.1 Критерии оценивания степени овладения знаниями, умениями, навыками и (или) опытом деятельности, определяющие уровни сформированности компетенций**

Пороговый уровень (общие характеристики):

- владение основным объемом знаний по программе дисциплины;
- знание основной терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы без существенных ошибок;
- владение инструментарием дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках рабочей программы дисциплины;
- усвоение основной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- знание базовых теорий, концепций и направлений по изучаемой дисциплине;
- самостоятельная работа на практических и лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, достаточный уровень культуры исполнения заданий.

Продвинутый уровень (общие характеристики):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме программы дисциплины;
- использование основной терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно решать сложные задачи (проблемы) в рамках рабочей программы дисциплины;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических и лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

Высокий уровень (общие характеристики):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам дисциплины;
- точное использование терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;

- безупречное владение инструментарием дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные задачи (проблемы) в рамках рабочей программы дисциплины;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- активная самостоятельная работа, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

### **3.2 Описание процедуры выставления оценки**

В зависимости от уровня сформированности каждой компетенции по окончании освоения дисциплины аспиранту выставляется оценка. Для дисциплин, изучаемых в течение нескольких семестров, оценка может выставляться не только по окончании ее освоения, но и в промежуточных семестрах. Вид оценки определяется рабочей программой дисциплины в соответствии с учебным планом.

Оценка «отлично» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована на высоком уровне.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на продвинутом уровне.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, у которого хотя бы одна компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована ниже, чем на пороговом уровне.

## Приложение № 2 к рабочей программе дисциплины «Дискретная математика и математическая кибернетика»

### Методические указания для аспирантов по освоению дисциплины

Общая трудоемкость освоения дисциплины «Дискретная математика и математическая кибернетика» составляет 6 зачетных единицы, 216 часов, из них 184 часа, отведенных на самостоятельную работу аспиранта.

Самостоятельная работа аспирантов направлена на приобретение новых теоретических и фактических знаний, закрепление полученных навыков, - выполняется в читальном зале библиотеки и в домашних условиях, подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением (учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций).

Экзамен и зачёты проводятся в устной форме, каждый билет содержит формулировки определений и утверждений, а также задачи по дискретной математике и математической кибернетике. На самостоятельную подготовку к экзамену выделяется 3 дня, во время подготовки к экзамену предусмотрена групповая консультация.

### Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов по дисциплине

Для самостоятельной работы рекомендуется использовать следующую учебную литературу:

1. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч., Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн; пер. с англ. И. В., Красикова, Н. А. Ореховой, В. Н. Романова. - 2-е изд. - М.: Вильямс, 2012. - 1290 с.
2. Клейнберг Дж. Алгоритмы: разработка и применение. Классика Computer Science / Дж. Клейнберг, Е. Тардос; пер. с англ. Е. Матвеева. – СПб.: Питер, 2016. – 800 с.
3. Скиена С. Алгоритмы. Руководство по разработке. – 2-е изд.: Пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 720 с.
4. Кортэ Б. Комбинаторная оптимизация. Теория и алгоритмы / Б. Кортэ, Й. Фиген; пер. с англ. М.А. Бабенко. – М.: МЦНМО, 2015. – 720 с.
5. Гэри. М. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи / М. Гэри, Д. Джонсон. Пер. с англ. - М.: Мир, 1982. – 416 с.
6. Седжвик Р. Фундаментальные алгоритмы на C++: пер. с англ / Р. Седжвик. - М.: ДиаСофтЮП, 2002. - 687 с.

### Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», рекомендованных к использованию при освоении дисциплины

**1. Научно-образовательный сайт Exponenta.ru** (<http://www.exponenta.ru>). Основные цели проекта Exponenta.ru: создать в российском Интернете единое пространство для всех, кто использует и хочет использовать математические пакеты в образовательной и научной деятельности; содействовать созданию русскоязычного сообщества пользователей математического ПО.

**2. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»** ([www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)) - электронная библиотека, обеспечивающая доступ к наиболее

востребованным материалам-первоисточникам, учебной, научной и художественной литературе ведущих издательств (\*регистрация в электронной библиотеке – только в сети университета. После регистрации работа с системой возможна с любой точки доступа в Internet.).

**3. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"** (<http://window.edu.ru/library>).

Целью создания информационной системы "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (ИС "Единое окно ") является обеспечение свободного доступа к интегральному каталогу образовательных интернет-ресурсов и к электронной библиотеке учебно-методических материалов для общего и профессионального образования.

Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" создана по заказу Федерального агентства по образованию в 2005-2008 гг. Главной разработчик проекта - Федеральное государственное автономное учреждение Государственный научно-исследовательский институт информационных технологий и телекоммуникаций (ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика") [www.informika.ru](http://www.informika.ru).

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

**1. Личный кабинет** ([http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_login.php](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_login.php)) дает возможность получения on-line доступа к списку выданной в автоматизированном режиме литературы, просмотра и копирования электронных версий изданий сотрудников университета (учеб. и метод. пособия, тексты лекций и т.д.) Для работы в «Личном кабинете» необходимо зайти на сайт Научной библиотеки ЯрГУ с любой точки, имеющей доступ в Internet, в пункт меню «Электронный каталог»; пройти процедуру авторизации, выбрав вкладку «Авторизация», и заполнить представленные поля информации.

**2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ** ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)) содержит более 2500 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете. Доступ в сети университета, либо по логину/паролю.

**3. Электронная картотека «Книгообеспеченность»** ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_bookreq\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_bookreq_find.php)) раскрывает учебный фонд научной библиотеки ЯрГУ, предоставляет оперативную информацию о состоянии книгообеспеченности дисциплин основной и дополнительной литературой, а также цикла дисциплин и специальностей. Электронная картотека «Книгообеспеченность» доступна в сети университета и через Личный кабинет.