


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

Кафедра дискретного анализа

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  
информатики и вычислительной техники

 Чалый Д.Ю.  
(подпись)

« 18 » \_\_\_\_\_ мая \_\_\_\_\_ 2021 г.

**Программа**

«Геометрические вопросы комбинаторной оптимизации»

**Направление подготовки**

01.06.01 Математика и механика

**Направленность (профиль)**

««Дискретная математика и математическая кибернетика»

Форма обучения  
очная

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры  
от « 13 » \_\_\_\_\_ апреля \_\_\_\_\_ 2021года, протокол № 4\_

Ярославль

### 1. Цели освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины «Геометрические вопросы комбинаторной оптимизации» состоит в изучении геометрической природы задач и алгоритмов комбинаторной оптимизации. Приводятся основные факты общей теории выпуклых многогранных множеств. Рассматривается унифицированная геометрическая интерпретация задач и алгоритмов. Изучаются комбинаторно-геометрические характеристики труднорешаемости задач. Проводится анализ многочисленных комбинаторных задач относительно их сложности.

### 2. Место дисциплины в структуре ОП аспирантуры

Дисциплина «Геометрические вопросы комбинаторной оптимизации» относится к вариативной части (дисциплина по выбору) ОП аспирантуры.

Данная дисциплина направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по научной специальности 01.01.09 «Дискретная математика и математическая кибернетика».

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП аспирантуры

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Код компетенции	Формулировка компетенции	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
ПК-1	способностью овладевать новыми разделами дискретной математики и математической кибернетики	<b>Знать:</b> – современную проблематику в вопросах построения эффективных алгоритмов. <b>Уметь:</b> – геометрически интерпретировать комбинаторные задачи и алгоритмы. <b>Владеть навыками:</b> – оценки сложности задач комбинаторной оптимизации.
ПК-3	способностью самостоятельно проводить научные исследования в области дискретной математики и математической кибернетики и применять полученные результаты в научных исследованиях в других областях	<b>Знать:</b> – основные геометрические конструкции, используемые для получения оценок сложности задач и при конструировании алгоритмов. <b>Уметь:</b> – исследовать новые задачи с точки зрения их сложности. <b>Владеть навыками:</b> – разработки новых алгоритмов.

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зач. ед., 144 акад. час.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	
			<b>Контактная работа</b>							
1.	Векторные, аффинные и евклидовы пространства	2	2						10	
2.	Выпуклые множества	2	2						9	
3.	Выпуклые многогранники. Теорема Вейля-Минковского	2	2						10	
4.	Примеры выпуклых многогранников	2	2						9	
5.	Циклические многогранники	2	2						10	
6.	Формула Эйлера-Пуанкаре	2	2			2			10	Тест
	<b>Всего за 2 семестр</b>		<b>12</b>			<b>2</b>			<b>58</b>	<b>Зачет</b>
7.	Геометрическая интерпретация задач	3	2						9	
8.	Конусные разбиения	3	2						9	
9.	Линейные разделяющие деревья	3	2						10	
10.	Алгоритмы прямого типа	3	2						10	
11.	Разрезной многогранник	3	2						10	Доклад
12.	Релаксационные многогранники	3	2			2			10	
	<b>Всего за 3 семестр</b>		<b>12</b>			<b>2</b>			<b>58</b>	<b>Зачет</b>
	<b>Всего</b>		<b>24</b>			<b>4</b>			<b>116</b>	

## Содержание разделов дисциплины:

- 1. Векторные, аффинные и евклидовы пространства**
  - 1.1. Определение линейной комбинации и линейной оболочки
  - 1.2. Определение линейной зависимости и линейной независимости векторов
  - 1.3. Определение линейного многообразия
  - 1.4. Определение аффинной комбинации и аффинной оболочки
  - 1.5. Определение гиперплоскости
- 2. Выпуклые множества**
  - 2.1. Определение выпуклого множества
  - 2.2. Определение замкнутого / открытого полупространства
  - 2.3. Определение выпуклой комбинации и выпуклой оболочки
  - 2.4. Определение отделимых и строго отделимых множеств
  - 2.5. Определение опорной гиперплоскости
- 3. Выпуклые многогранники. Теорема Вейля-Минковского**
  - 3.1. Определение многогранного множества (полиэдра)
  - 3.2. Определение выпуклого многогранника
  - 3.3. Теорема о гранях многогранника
  - 3.4. Определение вершины, ребра, фасеты многогранника
  - 3.5. Теорема Вейля-Минковского для выпуклых многогранников
  - 3.6. Определение выпуклого конуса
  - 3.7. Определение конической комбинации и конической оболочки
  - 3.8. Теорема Вейля-Минковского для конусов
  - 3.9. Теорема Вейля-Минковского для полиэдров
- 4. Примеры выпуклых многогранников**
  - 4.1. Определение симплекса
  - 4.2. Определение  $k$ -смежностного многогранника
  - 4.3. Определение куба (гиперкуба)
  - 4.4. Определение простого многогранника
  - 4.5. Определение кроссполитопа
  - 4.6. Определение симплицциального многогранника
- 5. Циклические многогранники**
  - 5.1. Теорема Штейница для трехмерных многогранников
  - 5.2. Определение циклического многогранника
  - 5.3. Теорема о  $\lfloor \frac{d}{2} \rfloor$  смежности циклического многогранника
- 6. Формула Эйлера-Пуанкаре**
  - 6.1. Теорема Эйлера
  - 6.2. Определение  $f$ -вектора многогранника
  - 6.3. Теорема Эйлера-Пуанкаре
- 7. Геометрическая интерпретация задач**
  - 7.1. Геометрическая постановка задачи коммивояжера
  - 7.2. Геометрическая постановка задачи о разрезе
  - 7.3. Геометрическая постановка задачи о назначениях
  - 7.4. Геометрическая постановка задачи сортировки
  - 7.5. Определение многогранника задачи

7.6. Фундаментальная теорема линейного программирования

## **8. Конусные разбиения**

8.1. Определения конуса решения задачи

8.2. Определение конусного разбиения пространства

8.3. Диаграмма Вороного

8.4. Интерпретация задачи комбинаторной оптимизации применительно к конусному разбиению

8.5. Теорема о размерности пересечения конусов

## **9. Линейные разделяющие деревья**

9.1. Определение линейного разделяющего дерева задачи

9.2. Определение бинарного разбиения пространства

9.3. Теорема о связи линейных разделяющих деревьев и бинарных разбиений

9.4. Теорема о необходимых сравнениях

## **10. Алгоритмы прямого типа**

10.1. Теорема о попарносмежных выпуклых множествах

10.2. Определение линейного разделяющего дерева прямого типа

10.3. Теорема о высоте дерева прямого типа

10.4. Геометрическая интерпретация алгоритма прямого типа

10.5. Сложность задачи выбора наибольшего числа в массиве

## **11. Разрезной многогранник**

11.1. Определение разрезного многогранника

11.2. Теорема о 3-смежности разрезного многогранника

11.3. Неотрицательное конусное разбиение пространства

11.4. Граф конусного разбиения

11.5. Граф конусного разбиения задачи о разрезе с неотрицательными весами

11.6. Конусные разбиения пространства по множеству точек на сфере

## **12. Релаксационные многогранники**

12.1. Корневой полуметрический многогранник

12.2. Релаксационный многогранник задачи о разрезе

12.3. Теорема о полущелых вершинах корневого полуметрического многогранника.

12.4. Теорема об условии полиномиальной разрешимости задачи целочисленного программирования на корневом полуметрическом многограннике

12.5. Решение задачи об ориентированном максимальном разрезе на корневом полуметрическом многограннике

## **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 студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты 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.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

#### **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;
- компиляторы с высокоуровневых языков программирования;
- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

#### **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

а) основная:

1. Бондаренко, В.А. Геометрические конструкции и сложность в комбинаторной оптимизации / В. А. Бондаренко, А. Н. Максименко, М., Изд-во ЛКИ, 2008, 182с.
2. Николаев, А.В. Геометрический подход к задаче о разрезе: метод. указания для аспирантов, обучающихся по направлению Прикладная математика и информатика / А. В. Николаев; Яросл. гос. ун-т., Ярославль, ЯрГУ, 2014, 67с.

б) дополнительная:

1. Белов, Ю.А. Геометрические вопросы сложности дискретных задач: учеб. пособие для вузов / Ю.А. Белов, В.А. Бондаренко, А.Н. Максименко; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та. - Ярославль: ЯрГУ, 2006. - 78 с.
2. Емеличев, В. А., Многогранники. Графы. Оптимизация / В. А. Емеличев, М. М. Ковалев, М. К. Кравцов, М., Наука, 1981, 344с.
3. Пападимитриу, Х. Комбинаторная оптимизация : алгоритмы и сложность / Х. Пападимитриу, К. Стайглиц ; пер. с англ. В. Б. Алексеева, М., Мир, 1985, 510с.
4. Ziegler, G.M. Lectures on Polytopes / G.M. Ziegler. - New York: Springer, 2007. - XIII, 373 p.
5. Korte, V. Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms. / V. Korte - 5th ed. - London: Springer, 2012. - XIX, 659 p.

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ ([http://www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)).
1. 2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (<http://www.edu.ru> (раздел Учебно-методическая библиотека) или по прямой ссылке <http://window.edu.ru/library>).
2. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» ([www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)).

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

Аудитории, оборудованные для проведения лекций, практических занятий и консультаций, фонд библиотеки, компьютерная техника.

**Автор(ы) :**

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

\_\_\_\_\_

*(подпись)*

А.В. Николаев

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Геометрические вопросы комбинаторной оптимизации»  
Фонд оценочных средств  
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

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

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущей аттестации**

**Темы докладов**

*(Проверка ПК-1 в части способностью овладевать новыми разделами  
дискретной математики и математической кибернетики)*

1. Теорема Хелли
2. Алгоритмы построения суммы Минковского на плоскости
3. Алгоритм Гилберта — Джонсона — Кёрти обнаружения столкновений между выпуклыми объектами
4. Теорема об отделимости выпуклых множеств
5. Теорема Вейля-Минковского
6. Алгоритм Фурье-Мощкина. Метод двойного описания
7. Алгоритмы построения выпуклой оболочки
8. Теорема Штейница для трехмерных многогранников
9. Теорема Макмаллена о верхней границе
10. Эйлерова характеристика. Теорема Эйлера-Пуанкаре
11. Уравнения Дена-Соммервилля
12. Теорема Алона-Ву. Сверхэкспоненциальные коэффициенты
13. Граф многогранника задачи о кратчайшем пути
14. Граф многогранника задачи коммивояжера
15. Граф многогранника матрицы
16. Теорема о 3-смежности разрезного многогранника
17. Графы многогранников задач о клике, независимом множестве и вершинном покрытии
18. Граф многогранника задачи разбиение на треугольники
19. Граф многогранника задачи трехмерное сочетание
20. Алгоритм динамического программирования для задачи коммивояжера как алгоритм прямого типа
21. Метод ветвей и границ для задачи коммивояжера как алгоритм прямого типа
22. Перестановочный многогранник. Парные сравнение и алгоритмы прямого типа
23. Гипотеза Гейла о 2-смежности случайных 0/1 многогранников
24. Решение задачи об ориентированном максимальном разрезе на корневом полуметрическом многограннике
25. Решение Данцига, Фалкерсона и Джонсона задачи коммивояжера для 49 городов
26. Расширенная формулировка для задачи о совершенном паросочетании в планарном графе
27. Сложность расширенной формулировки для задачи коммивояжера



## Критерии оценивания

Показатели	Критерии
Содержание доклада	Анализирует изученный материал, Выделяет наиболее значимые для раскрытия темы факты, научные положения, Соблюдает логическую последовательность в изложении материала
Аргументированно отвечает на вопросы	Проявляет критическое мышление
Представление доклада	Использует иллюстративные, наглядные материалы, Владеет культурой речи

Оценка	Критерии
Отлично	Доклад полностью соответствует описанным критериям
Хорошо	Доклад соответствует описанным критериям за исключением некоторых замечаний не более чем по нескольким пунктам критериев
Удовлетворительно	Доклад соответствует более чем половине описанных критериев
Неудовлетворительно	Доклад не соответствует большей части описанных критериев

**Тест для проверки по результатам освоения дисциплины**  
*(Проверка ПКЗ в части способностью самостоятельно проводить научные исследования в области дискретной математики и математической кибернетики и применять полученные результаты в научных исследованиях в других областях)*

1. Пусть  $u_1, \dots, u_n$  – некоторые точки в пространстве  $\mathbb{R}^d$ . Выражение

$$\lambda_1 u_1 + \dots + \lambda_n u_n,$$

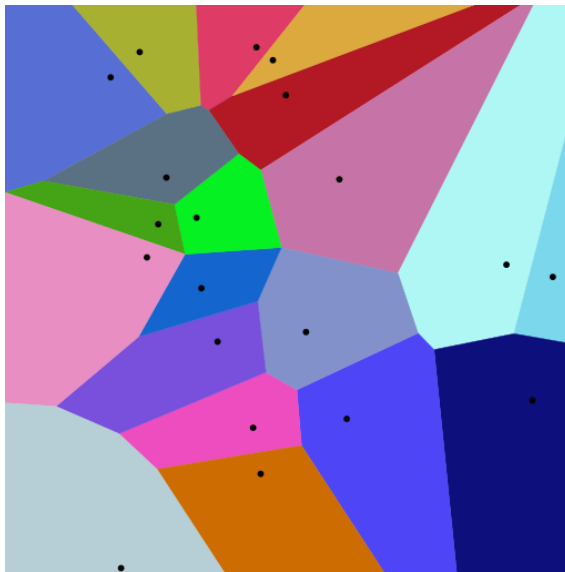
$$\text{где } \forall i: \lambda_i \in \mathbb{R},$$

$$\lambda_1 + \dots + \lambda_n = 1$$

называется

- а) линейной комбинацией;
  - б) аффинной комбинацией;
  - в) конической комбинацией;
  - г) выпуклой комбинацией?
2. Как называется многогранник, имеющий максимальное число граней среди всех выпуклых многогранников на  $n$  вершинах размерности  $d$ ?
- а) гиперкуб;
  - б) кроссполитоп;
  - в) симплекс;

- г) циклический многогранник.
3. Грань какой размерности называется фасетой  $d$ -мерного многогранника?
- 1;
  - 2;
  - $d - 2$ ;
  - $d - 1$ .
4. Множество решений системы линейных неравенств
- $$Ax \leq b$$
- называется выпуклым ... ?
- полиэдром;
  - конусом;
  - многогранником;
  - симплексом.
5. Четырёхмерный кроссполитоп имеет 8 вершин, 24 ребра и 32 двумерных грани. А сколько трёхмерных гиперграней у четырёхмерного кроссполитопа?
- 36;
  - 16;
  - 14;
  - 8.
6. Как называется объект, изображённый на картинке?



- триангуляция Делоне;
  - диаграмма Вороного;
  - ковёр Серпинского;
  - конусы Минковского.
7. Сколько вершин имеет многогранник симметричной задачи коммивояжёра на  $n$  городах?
- $n$ ,
  - $\frac{n(n-1)}{2}$ ;
  - $\frac{(n-1)!}{2}$ ;
  - $n!$ .

8. Корневой полуметрический многогранник является релаксационным многогранником для задачи:
- о разрезе;
  - коммивояжера;
  - о назначениях;
  - сортировки.

### Правильные ответы

Вопрос №	Правильный ответ	Вопрос №	Правильный ответ
1	б	5	б
2	г	6	б
3	г	7	в
4	а	8	а

Каждый вопрос оценивается в один балл.

9-10 баллов – оценка «отлично», компетенция сформирована на высоком уровне.

7-8 баллов – оценка «хорошо», компетенция сформирована на продвинутом уровне.

5-6 баллов – оценка «удовлетворительно», компетенция сформирована на базовом уровне.

Менее 5 баллов – оценка «неудовлетворительно», компетенция не сформирована.

### 1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

#### Вариант билета на зачете

Задания	Ответы
1. Сформулировать определение симплекса	Раздел 4.1
2. Сформулировать определение гиперплоскости	Раздел 1.5
3. Сформулировать теорему Вейля-Минковского для выпуклых многогранников	Раздел 3.5
4. Определить число гиперграней четырехмерного многогранника, если он имеет 16 вершин, 32 ребра и 24 двумерных грани	8
5. Верно ли, что любой полиэдр можно представить в виде суммы выпуклого многогранника и конуса?	Верно Раздел 3

## Критерии оценивания

Показатели	Критерии	Оценка
<p><b>ПК-1</b></p> <p><b>Знать:</b> – современную проблематику в вопросах построения эффективных алгоритмов.</p> <p><b>Уметь:</b> – геометрически интерпретировать комбинаторные задачи и алгоритмы.</p> <p><b>Владеть навыками:</b> – оценки сложности задач комбинаторной оптимизации.</p>	<p>ПК-1</p> <p>Студентом дан полный, в логической последовательности развернутый ответ на поставленный вопрос, где он продемонстрировал знания предмета в полном объеме учебной программы, достаточно глубоко осмысливает дисциплину.</p>	«Зачтено»
	<p>ПК-3</p> <p>Студент самостоятельно, и исчерпывающе отвечает на дополнительные вопросы, приводит собственные примеры по проблематике поставленного вопроса, решил предложенные практические задания без ошибок.</p>	
<p><b>ПК-3</b></p> <p><b>Знать:</b> – основные геометрические конструкции, используемые для получения оценок сложности задач и при конструировании алгоритмов.</p> <p><b>Уметь:</b> – исследовать новые задачи с точки зрения их сложности.</p> <p><b>Владеть навыками:</b> – разработки новых алгоритмов.</p>	<p>ПК-1</p> <p>Студентом дан ответ, который содержит ряд серьезных неточностей, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы, незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов, неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности.</p> <p>ПК-3</p> <p>Выводы поверхностны. Решение практических заданий не выполнено. Т.е студент не способен ответить на вопросы даже при дополнительных наводящих вопросах преподавателя.</p>	Неудовлетворительно (уровень не сформирован)

## **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 студентом в результате освоения дисциплины. Пороговый уровень является обязательным уровнем для студента к моменту завершения им освоения данной дисциплины.

*Продвинутый уровень* - предполагает способность студента 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 студента 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>Общепрофессиональные компетенции</b>						
ПК-1	Доклад, зачёт	1-12	<p><b>Знать:</b> – современную проблематику в вопросах построения эффективных алгоритмов.</p> <p><b>Уметь:</b> – геометрически интерпретировать комбинаторные задачи и алгоритмы.</p> <p><b>Владеть навыками:</b> – оценки сложности задач комбинаторной оптимизации.</p>	<p>1. Знание основных определений теории выпуклых многогранников.</p> <p>2. Знание современной проблематики в вопросах построения эффективных алгоритмов.</p>	<p>1. Знание основных определений теории выпуклых многогранников.</p> <p>2. Знание современной проблематики в вопросах построения эффективных алгоритмов.</p> <p>3. Знание основных геометрических конструкций, используемых для получения оценок сложности задач и при конструировании алгоритмов</p>	<p>1. Знание основных определений теории выпуклых многогранников.</p> <p>2. Знание современной проблематики в вопросах построения эффективных алгоритмов.</p> <p>3. Знание основных геометрических конструкций, используемых для получения оценок сложности задач и при конструировании алгоритмов</p> <p>4. Владение навыками оценки сложности задач комбинаторной оптимизации.</p>

ПК-3	Зачёт	1-12	<p><b>Знать:</b> – основные геометрические конструкции, используемые для получения оценок сложности задач и при конструировании алгоритмов.</p> <p><b>Уметь:</b> – исследовать новые задачи с точки зрения их сложности.</p> <p><b>Владеть навыками:</b> – разработки новых алгоритмов.</p>	<p>1. Умение геометрически интерпретировать комбинаторные задачи и алгоритмы.</p> <p>2. Владение навыками оценки сложности задач комбинаторной оптимизации.</p>	<p>1. Умение геометрически интерпретировать комбинаторные задачи и алгоритмы.</p> <p>2. Владение навыками оценки сложности задач комбинаторной оптимизации.</p> <p>3. Умение исследовать новые задачи с точки зрения их сложности.</p>	<p>1. Умение геометрически интерпретировать комбинаторные задачи и алгоритмы.</p> <p>2. Владение навыками оценки сложности задач комбинаторной оптимизации.</p> <p>3. Умение исследовать новые задачи с точки зрения их сложности.</p> <p>4. Владение навыками разработки новых алгоритмов.</p>
------	-------	------	---	---	--	---

### **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 студентом ожидаемыми результатами обучения (знаниями, умениями, навыками и (или) опытом деятельности).

Процедура оценивания степени овладения студентом 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 объёме 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 на практических и лабораторных занятиях, 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 студенту 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 («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», «зачтено», «незачтено») 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.

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

Оценка «незачтено» 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 «Геометрические вопросы комбинаторной оптимизации»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Общая трудоемкость освоения дисциплины «Геометрические вопросы комбинаторной оптимизации» составляет 4 зачетных единицы, 144 часов, из них 116 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).

Зачёт проводятся в устной форме, каждый билет содержит формулировки определений и утверждений, а также задачи по геометрическим вопросам комбинаторной оптимизации. На самостоятельную подготовку к экзамену выделяется 3 дня, во время подготовки к зачёту предусмотрена групповая консультация.

### **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине**

Для самостоятельной работы особенно рекомендуется использовать учебную литературу.

Также для подбора учебной литературы рекомендуется использовать широкий спектр интернет-ресурсов:

1. 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.).

2. 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).

ИС "Единое окно" объединяет в единое информационное пространство электронные ресурсы свободного доступа для всех уровней образования в России. Разделы этой системы:

- Электронная библиотека – является крупнейшим в российском сегменте Интернета хранилищем полнотекстовых версий учебных, учебно-методических и научных материалов с открытым доступом. Библиотека содержит более 30 000 материалов, источниками которых являются более трехсот российских вузов и других образовательных и научных учреждений. Основу наполнения библиотеки составляют электронные версии учебно-методических материалов, подготовленные в вузах, прошедшие рецензирование и рекомендованные к использованию советами факультетов, учебно-методическими комиссиями и другими вузовскими структурами, осуществляющими контроль учебно-методической деятельности.

- Интегральный каталог образовательных интернет-ресурсов содержит представленные в стандартизированной форме метаданные внешних ресурсов, а также содержит описания полнотекстовых публикаций электронной библиотеки. Общий объем каталога превышает 56 000 метаописаний (из них около 25 000 - внешние ресурсы). Расширенный поиск в "Каталоге" осуществляется по названию, автору, аннотации, ключевым словам с возможной фильтрацией по тематике, предмету, типу материала, уровню образования и аудитории.

- Избранное. В разделе представлены подборки наиболее содержательных и полезных, по мнению редакции, интернет-ресурсов для общего и профессионального образования.

- Библиотеки вузов. Раздел содержит подборки сайтов вузовских библиотек, электронных каталогов библиотек вузов и полнотекстовых электронных библиотек вузов.

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.