

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Бианкина Алена Олеговна  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 02.03.2023 23:43:51  
Уникальный программный ключ:  
b2aeadef209e4ec32d89f812db7eed614bb00b0c

**Автономная некоммерческая организация высшего образования  
«Институт социальных наук»**



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Исследование операций**

для студентов направления подготовки

38.03.05 Бизнес-информатика

Профиль

**«Бизнес-аналитика»**

Квалификация (степень) выпускника – бакалавр

Форма обучения: очная

**Москва**

**Рабочая программа** дисциплины «Исследование операций»

Направление подготовки 38.03.05 Бизнес –информатика

Составитель

Программа рассмотрена и согласована на заседании кафедры экономики и управления  
(протокол № от « » \_\_\_\_\_20 г.)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

(подпись)

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Объем и место дисциплины в структуре образовательной программы
3. Содержание и структура дисциплины
4. Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся и фонд оценочных средств промежуточной аттестации по дисциплине
  - 4.1. Формы и методы текущего контроля успеваемости обучающихся и промежуточной аттестации
  - 4.2. Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся
  - 4.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации
  - 4.4. Методические материалы
5. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины
6. Учебная литература и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
  - 6.1. Основная литература
  - 6.2. Дополнительная литература
  - 6.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
  - 6.4. Нормативные правовые документы
  - 6.5. Интернет-ресурсы
  - 6.6. Иные источники
7. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплинам, соотнесенных с планируемыми результатами освоения программы

1.1. Дисциплина «Исследование операций» обеспечивает овладение следующими компетенциями:

Таблица 1.1

Код компетенции	Наименование компетенции	Код этапа освоения компетенции	Наименование этапа освоения компетенции
ДПК-29	способность использовать основные методы математических и естественнонаучных дисциплин в профессиональной информационно-аналитической деятельности	ДПК -29.1	Способность использовать методы классической и дискретной математики при решении абстрактных математических задач. Способность использовать навыки алгоритмизации для решения прикладных задач

В результате освоения дисциплины у студентов должны быть сформированы:

Таблица 1.2

ОТФ/ТФ (при наличии профстандарта)/ профессиональные действия	Код этапа освоения компетенции	Результаты обучения
Выполнение работ и управление работами по созданию (модификации) и сопровождению ИС, автоматизирующих задачи организационного управления и бизнес-процессы/ Разработка модели бизнес-процессов заказчика	ДПК 29.1	на уровне знаний: – основные понятия и основные методы исследования операций, области их применения, их достоинства и недостатки, основные классы математических моделей.
		на уровне умений: - обобщать, анализировать, воспринимать информацию, формулировать цель и выбирать пути ее достижения; - применять математические методы и инструментальные средства для исследования объектов профессиональной деятельности; - строить математические модели объектов профессиональной деятельности; - использовать математические и инструментальные средства для обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования.

## 2. Объем и место дисциплины в структуре ОП ВО

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы /108 академ. часов.

Таблица 2

Вид работы	Трудоемкость (в академ. часах)
<b>Общая трудоемкость</b>	108/81
<b>Контактная работа с преподавателем</b>	48/36
Лекции	20/15
Практические занятия	28/21
Лабораторные занятия	
<b>Самостоятельная работа</b>	60/45
Контроль	
Формы текущего контроля	ДЗ, Т, ПКЗ
<b>Форма промежуточной аттестации</b>	Зачет с оценкой

### Место дисциплины в структуре ОП ВО

Дисциплина реализуется с применением дистанционных образовательных технологий (далее - ДОТ).

Дисциплина Б1.В.18 «Исследование операций» относится к базовой части учебного плана по направлению «Бизнес-информатика» 38.03.05. Преподавание дисциплины «Исследование операций» основано на дисциплинах – Б1.Б.07.03 «Теория вероятностей и математическая статистика», Б1.Б.07.01 «Математический анализ», Б1.В.21 «Дифференциальные и разностные уравнения». В свою очередь она создаёт необходимые предпосылки для освоения программ таких дисциплин, как Б1.Б.22 «Методы принятия решений», Б1.В.ДВ.05.01 «Компьютерное моделирование» (Б1.В.ДВ.05.02 «Компьютерная математика и пакеты прикладных программ»), Б1.В.03 «Моделирование бизнес-процессов», Б1.В.10 «Архитектура предприятия» Б.1.Б.21 «Математическая экономика».

Дисциплина изучается в 4-м семестре 2-го курса. Формой промежуточной аттестации в соответствии с учебным планом является зачет с оценкой.

### 3. Содержание и структура дисциплины

Таблица 3

№ п/п	Наименование тем	Объем дисциплины, час.					СР	Форма текущего контроля успеваемости** , промежуточной аттестации***
		Всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий					
			Л	ЛР	ПЗ	КСР		
Тема 1	Формулировка задач математического программирования. Классическая оптимизация	14	2		4		8	ДЗ
Тема 2	Линейное программирование	26	4		8		14	ДЗ, РГЗ
Тема 3	Транспортная Кейс линейного программирования	22	4		4		14	ДЗ
Тема 4.	Нелинейное программирование. Введение в целочисленное программирование	24	4		8		12	ДЗ, К
Тема 5	Многошаговые процессы принятия решений. Динамическое программирование	22	6		4		12	ДЗ
Промежуточная аттестация						2*		ЗаО
Всего (акад./астр. часы):		<b>108/81</b>	20/15		28/21		60/45	

2\* - консультация, не входящая в общий объем дисциплины

ДЗ – Кейсы,

ПКЗ – практические контрольные задания,

РГЗ – расчетно-графическое задание

ЗаО – зачет с оценкой

#### Содержание дисциплины

**Тема 1. Формулировка задач математического программирования. Классическая оптимизация.**

Предмет исследования операций. Кейс нахождения оптимального решения с использованием математических методов в условиях полной определенности и в условиях наличия случайных составляющих процесса. Однокритериальная и многокритериальная задачи оптимизации. Теоремы оптимизации. Локально-глобальная теорема. Выпуклые вогнутые множества. Выпуклые и вогнутые функции. Необходимые и достаточные условия экстремума. Метод множителей Лагранжа.

## **Тема 2: Линейное программирование**

Кейс нахождения условного экстремума (минимума или максимума при наличии ограничений). Общая формулировка задачи линейного программирования. Приведение задачи к каноническому виду. Графический метод решения задачи линейного программирования с двумя независимыми переменными. Симплекс-метод задачи линейного программирования. Решение задачи линейного программирования с использованием симплекс – таблиц. Метод штрафов. Принципы оптимальности и допустимости. Замена набора базисных переменных. Критерий оптимальности решения. Двойственность задачи линейного программирования. Основные теоремы двойственности. Экономическая интерпретация задачи линейного программирования. Устойчивость решения задач линейного программирования.

## **Тема 3. Транспортная Кейс линейного программирования**

Формулировка транспортной задачи. Классификация транспортных задач. Открытая и закрытая задачи. Допустимая и оптимальная схемы перевозки. Нахождение первоначального допустимого решения. Методы нахождения опорного плана. Метод северо-западного угла. Метод оптимального элемента. Метод Фогеля. Использование метода потенциалов в поиске оптимума. Задания о назначениях.

## **Тема 4. Нелинейное программирование. Введение в целочисленное программирование**

Отличие нелинейного программирования от линейного. Графоаналитический метод решения задачи нелинейного программирования. Выпуклые задачи нелинейного программирования. Квадратичная Кейс нелинейного программирования. Дробно-линейная Кейс нелинейного программирования. Метод обобщенной функции Лагранжа. Условия Куна-Таккера. Градиент. Численные методы поиска экстремума. Общая характеристика задач целочисленного программирования.

## **Тема 5. Многошаговые процессы принятия решений. Динамическое программирование**

Понятие динамического или поэтапного программирования. Разбиение задачи на этапы. Оптимизация решения на каждом из этапов. Составление рекуррентных уравнений Беллмана. Уравнение связи переменных. Прямая и обратная прогонка. Примеры задач динамического программирования. Кейс о распределении ресурсов. Кейс о ранце. Связь сетевых моделей с моделями динамического программирования. Кейс о выборе кратчайшего пути.

## **4. Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся и фонд оценочных средств промежуточной аттестации по дисциплине**

Промежуточная аттестация может проводиться с использованием ДОТ.

#### 4.1. Формы и методы текущего контроля успеваемости

4.1.1. В ходе реализации дисциплины «Исследование операций» используются следующие методы текущего контроля успеваемости обучающихся:

Таблица 4.1

Тема (раздел)	Формы (методы) текущего контроля успеваемости
Тема 1. Формулировка задач математического программирования. Классическая оптимизация	Защита задания
Тема 2. Линейное программирование	Защита задания
Тема 3. Транспортная Кейс линейного программирования	Защита задания
Тема 4. Нелинейное программирование. Введение в целочисленное программирование	Защита задания, Практические контрольные задания
Тема 5. Многошаговые процессы принятия решений. Динамическое программирование	Защита задания

#### 4.1.3. Зачет проводится с применением следующих методов (средств):

Зачет проводится в компьютерном классе. Зачет производится в устной форме. Во время зачета осуществляется проверка знаний и умений. Для этого разработаны типовые вопросы, выносимые на зачет и типовые задачи, одну из которых должен решить студент во время сдачи зачета. При решении задачи студент может использовать результаты решения задач во время проведения практических занятий по дисциплине. Он также может воспользоваться надстройкой Excel для проверки правильности решения задачи, а также для демонстрации умения использовать программные приложения для решения задач оптимизации.

##### 4.1.1. Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся.

##### **Кейсы.**

Все тексты домашних заданий размещены на отдельных листах файлов в Excel.

##### **Кейсы № 1. Классическая оптимизация**

**Кейс 1.** Исследовать на экстремум

$$y = (x - 5)e^x.$$

**Кейс 2.** Найти стационарные точки

$$f(X) = x_1^3 + 2x_2^2 - 6x_1x_2.$$

**Кейс 3.** Определить необходимые и достаточные условия экстремума для функции

$$f(X) = x_1^3 + 2x_2^2 - 6x_1x_2.$$

**Кейс 4.** Найти стационарные точки

$$Z(x_1, x_2, x_3) = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2;$$

$$g_1(x_1, x_2, x_3) = x_1 + 2x_2 + x_3 = 10.$$

**Кейс 5.** Найти минимум функции

$$Z(x_1, x_2, x_3) = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - x_1 \cdot x_2 - 2 \cdot x_3,$$

при ограничениях:

$$g_1(x_1, x_2, x_3) = x_1 - x_2 + 2x_3 = 0.$$

**Кейс 6.** Исследовать функцию двух переменных на экстремум, анализируя

необходимые и достаточные условия

$$f(X) = x_1^2 + 2x_2^2 + x_3;$$

$$g_1(X) = x_1 + 4x_2 - x_3 - 2 = 0;$$

$$g_2(X) = 2x_1 - 4x_2 + 5 = 0.$$

Кейсы № 2. Линейное программирование

### Кейс 1

Используя графический метод, найти максимум целевой функции  $f(x_1, x_2) = 4x_1 + 2x_2$ , если задана следующая система ограничений:

$$\begin{cases} x_1 \geq 0, & x_2 \geq 0; \\ 2x_1 + 3x_2 \leq 18; \\ -x_1 + 3x_2 \leq 9; \\ 2x_1 - x_2 \leq 10. \end{cases}$$

Ответ  $f_{\max} = f(x^*) = 28$  при  $x_1^* = 6, x_2^* = 2.$

### Кейс 2

Решить графически и методом симплекс – таблиц задачу ЛП:

Максимизировать  $f(X) = 5x_1 + 2x_2$

при ограничениях

$$\begin{cases} x_1 \leq 40, \\ x_2 \leq 30, \\ x_1 + x_2 \leq 50, \\ x_1, x_2 \geq 0. \end{cases}$$

Ответ:  $X^* = (40, 10); f(40, 10) = 220.$

### Кейс 3

Решить симплекс-методом задачу ЛП: Максимизировать

$$f(X) = -x_1 + 2x_2$$

при ограничениях

$$\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 2, \\ x_1 - x_2 \leq 1, \\ x_1 + 2x_2 \leq 5, \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0. \end{cases}$$

Ответ  $X^* = f(0, 2) = 4.$

### Кейс 4

Решить симплекс-методом задачу:

Максимизировать  $f(X) = 2x_1 - x_2 + 3x_3$

при ограничениях

$$\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 20, \\ x_2 + 2x_3 \leq 30, \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0. \end{cases}$$



Ответ  $X^* = (20, 0, 5); f(20, 0, 5) = 55$ .

### **Кейс 5**

Решить симплекс-методом задачу:

Максимизировать  $f(X) = 5x_1 - x_3$  при ограничениях

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + 2x_3 \leq 3, \\ x_2 + 2x_3 = 1, \\ x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0. \end{cases}$$

При решении использовать М-метод

Ответ  $X^* = (2, 1, 0); f(2, 1, 0) = 10$ .

### **Кейс 6**

Постановка задачи оптимизации имеет вид:

$$-4x_1 - 2x_2 + x_3 - 4x_4 \rightarrow \max;$$

$$\begin{cases} x_1 - x_2 + 4x_3 - 2x_4 = 2 \\ 3x_1 + 2x_2 - x_3 + x_4 = 3 \\ x_j \geq 0 \end{cases}$$

С помощью теории двойственности найти оптимальное значение критерия.

Ответ  $f(X^*) = g(Y^*) = -3$

### **Кейс 7**

Фирма производит три вида изделий, прибыль от которых составляет соответственно \$2, \$5 и \$3 на единицу изделия. Для производства этих изделий фирма располагает 80 рабочими часами ручного труда и 65 часами машинного времени. Для производства одной единицы изделия каждого из трех видов требуется 2, 1 и 2 часа ручного труда и 1, 1 и 0,5 часов машинного времени соответственно. Максимизировать прибыль предприятия.

Ответ.  $X^* = (0, 60, 10); F(X^*) = 330$

### **Кейс 8**

Исходная Кейс имеет вид:

$$f(X) = 5x_1 + x_2 - x_3 - 2x_4 \rightarrow \max;$$

$$\begin{cases} 2x_1 - 2x_2 + 3x_3 - x_4 \leq 9 \\ x_1 + x_2 + 2x_3 \leq 6 \\ x_j \geq 0, \forall j = 1, 4 \end{cases}$$

Найти оптимальные решения для прямой и двойственной задач. Определить точки экстремума.

Ответ.  $f(X^*) = f(5, 25; 0, 75, 0, 0) = g(Y^*) = 27$

Кейсы № 3. Транспортная Кейс линейного программирования

Решить транспортную задачу линейного программирования, если транспортная Кейс имеет вид:

Тарифы за перевозку единицы товара, в сотнях рублей	В	В	В	В
	1	2	3	4
A1	4	6	4	2
A2	6	4	8	8
A3	8	5	9	0
A4	1	4	6	1

Кейсы № 4. Нелинейное программирование. Файл с домашним заданием находится в ресурсах сети. Пример задачи домашнего задания

**Кейс 1. Решить графо-аналитически задачу НЛП**

$$f(X) = 2x_1 + 4x_2;$$

$$\begin{cases} x_1 x_2 \leq 4 \\ x_1 + x_2 \geq 5 \\ x_1 \leq 7 \\ x_2 \leq 6 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

**Кейс 2.**

Решить дробно-линейную задачу математического программирования

$$f = \frac{4x_1 - 2x_2}{3x_1 + x_2 + 1} \rightarrow \max;$$

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 = 10 \\ x_1 + x_2 = 4 \end{cases}$$

**Кейсы № 5.** Динамическое программирование. Файл с домашним заданием находится в ресурсах сети. Пример задачи домашнего задания

**Кейс 1.**

Лизинговой компании необходимо сделать выбор объектов предполагаемых лизинговых сделок с определением оптимальных объемов финансирования на приобретение этих объектов в размерах кратных 100 млн. руб. Для инвестирования на эти цели компания располагает капиталом в объеме 700 млн. руб. В таблице приводится среднегодовая прибыль компаний, ожидаемая от лизингополучателей при предоставлении им того или иного объекта на сумму от 0 до 700 млн. руб.

Под оптимальным объемом финансирования на приобретение объектов лизинга администрация компании понимает такое распределение суммы в 700 млн. руб. при котором среднегодовая прибыль от лизингополучателей всех этих объектов оказывается максимальной

Контрольные работы

Практические контрольные задания состоит из вариантов решения задач исследования операций. Пример варианта решения задачи

**Кейс 1.** Решить дробно-линейную задачу нелинейного программирования

$$f = \frac{x_1 + 2x_2}{3x_1 + x_2} \rightarrow \max;$$

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 = 8 \\ x_1 x_2 = 5 \end{cases}$$

**Кейс 2.** Исследовать на оптимальность функцию

$$Z(x_1, x_2) = x_1^2 + 2x_2^2,$$

при ограничениях:

$$g_1(x_1, x_2) = x_1 + 2x_2 = 6.$$

**Кейс 3.** Графоаналитическим методом найти максимум функции  $f(X) = 2x_1 - 6x_2$  при ограничениях

$$\begin{cases} x_1 + x_2 \geq 2 \\ x_1 + 2x_2 \leq 8 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

**Кейс 4.** Симплекс-методом решить задачу линейного программирования

$$Z = f(x_1, x_2) = 2x_1 + 2x_2 \rightarrow \max;$$

$$\begin{cases} 2x_1 + x_2 \leq 3 \\ x_1 + 3x_2 \leq 6 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Ответ  $Z = 4,8$

**Кейс 5.** Найти оптимальный план, если транспортная таблица имеет вид

	B1	B2	B3	
A1	2	2	4	60
A2	4	3	2	20
A3	3	5	3	30
	40	40	30	

**Расчетно-графическое задание 1.**

Расчетно-графическое задание содержит варианты решения задачи линейного программирования. Пример таких вариантов приведен ниже.

n	Кейс ЛП	n	Кейс ЛП
1	2	3	4
1	$F(x) = 2x_1 - 5x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \geq 6 \\ 3x_1 - x_2 \geq -1 \\ 2x_1 - 4x_2 \geq 4 \end{cases}$	2	$F(x) = -x_1 + 4x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} x_2 \leq 2 \\ 2x_1 - x_2 \geq -1 \\ 2x_1 - 4x_2 \leq 4 \end{cases}$
3	$F(x) = 3x_1 + 4x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 2 \\ -x_1 + 5x_2 \geq 10 \\ x_1 \geq 2 \end{cases}$	4	$F(x) = 21x_1 + 4x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} x_1 + x_2 \geq 12 \\ 2x_1 - x_2 \leq -1 \\ 2x_1 - 4x_2 \geq 4 \end{cases}$
5	$F(x) = 2x_1 + 3x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} x_1 + x_2 \geq 10 \\ 8x_1 - x_2 \geq -8 \\ x_2 \leq 2 \end{cases}$	6	$F(x) = 7x_1 + 3x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} 3x_1 + 4x_2 \geq 12 \\ x_1 - x_2 \geq -1 \\ 2x_1 - 4x_2 \geq 4 \end{cases}$

7	$F(x) = 3x_1 + 2x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} x_1 \geq 1 \\ 8x_1 - 2x_2 \geq -8 \\ x_2 \geq 2 \end{cases}$	8	$F(x) = 3x_1 + x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} x_1 \geq 1 \\ 2x_1 + x_2 \geq 8 \\ 2x_1 - x_2 \leq 4 \end{cases}$
9	$F(x) = 4x_1 + 5x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} x_2 \geq 5 \\ x_1 - 2x_2 \geq -2 \\ 6x_1 - 2x_2 \geq 6 \end{cases}$	10	$F(x) = 3x_1 - 7x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} x_1 + x_2 \geq 1 \\ x_1 - 2x_2 \geq -2 \\ 3x_1 - x_2 \geq 6 \end{cases}$
11	$F(x) = -x_1 - x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} x_2 \leq 1 \\ x_1 - 2x_2 \geq 2 \\ 2x_1 + 3x_2 \geq 12 \end{cases}$	12	$F(x) = 6x_1 + 7x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} 3x_1 + 5x_2 \geq 14 \\ 2x_1 - 4x_2 \geq -6 \\ 3x_1 - 8x_2 \leq 6 \end{cases}$
13	$F(x) = 6x_1 + 7x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} 3x_1 + 5x_2 \geq 15 \\ x_1 - 4x_2 \leq -4 \\ 3x_1 - 2x_2 \geq 7 \end{cases}$	14	$F(x) = -x_1 - x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} 2x_1 + 6x_2 \geq 12 \\ x_1 + x_2 \geq 2 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$
15	$F(x) = 2x_1 + 5x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} 3x_1 + 5x_2 \geq 0 \\ 2x_1 - 4x_2 \leq -10 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$	16	$F(x) = x_1 + 3x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} 3x_1 + 5x_2 \geq 15 \\ 2x_1 - 4x_2 \leq 10 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$
17	$F(x) = x_1 + 3x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} 3x_1 - 8x_2 \leq 9 \\ x_1 - 2x_2 \geq -4 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$	18	$F(x) = 4x_1 + 3x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} 3x_1 + 5x_2 \geq 16 \\ x_1 - 2x_2 \geq 7 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$
19	$F(x) = x_1 - 9x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} 3x_1 + 5x_2 \geq 17 \\ 2x_1 - 4x_2 \geq -6 \\ 3x_1 - 8x_2 \leq 6 \end{cases}$	20	$F(x) = x_1 + 14x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} x_2 \leq 1 \\ 2x_1 + 3x_2 \geq 13 \\ x_1 - 2x_2 \geq 2 \end{cases}$

1	2	3	4
21	$F(x) = 2x_1 - 5x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \geq 6 \\ 3x_1 - x_2 \geq -1 \\ 2x_1 - 4x_2 \leq 4 \end{cases}$	22	$F(x) = 7x_1 + 2x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} x_2 \geq 2 \\ 2x_1 - x_2 \geq -1 \\ 2x_1 - 4x_2 \leq 8 \end{cases}$
23	$F(x) = 6x_1 + 4x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 2 \\ -x_1 + 5x_2 \geq 10 \\ x_1 \geq 2 \end{cases}$	24	$F(x) = 2x_1 - 8x_2 \rightarrow \max$ $\begin{cases} x_1 + x_2 \geq 12 \\ 2x_1 - x_2 \leq -1 \\ 2x_1 - 4x_2 \geq 4 \end{cases}$
25	$F(x) = -3x_1 + 2x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} x_1 + x_2 \geq 10 \\ 8x_1 - x_2 \geq -8 \\ x_2 \leq 2 \end{cases}$	26	$F(x) = 4x_1 - x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} 3x_1 + 4x_2 \geq 12 \\ x_1 - x_2 \geq -1 \\ 2x_1 - 4x_2 \geq 5 \end{cases}$
27	$F(x) = 3x_1 - x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} x_1 \geq 2 \\ x_2 \geq 2 \\ 8x_1 - 2x_2 \geq -8 \end{cases}$	28	$F(x) = 2x_1 - 5x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} x_1 \geq 1 \\ 2x_1 + x_2 \geq 8 \\ 2x_1 - x_2 \leq 4 \end{cases}$
29	$F(x) = 3x_1 - 4x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} x_2 \geq 5 \\ 6x_1 - 2x_2 \geq 6 \\ x_1 - 2x_2 \geq -2 \end{cases}$	30	$F(x) = x_1 + 5x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} x_1 + x_2 \geq 1 \\ 3x_1 - x_2 \geq 6 \\ x_1 - 2x_2 \geq -2 \end{cases}$
31	$F(x) = 2x_1 - 5x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} x_1 \geq 1 \\ 2x_1 + x_2 \geq 8 \\ 2x_1 - x_2 \leq 4 \end{cases}$	32	$F(x) = 3x_1 - 4x_2 \rightarrow \min$ $\begin{cases} x_2 \geq 5 \\ 6x_1 - 2x_2 \geq 6 \\ x_1 - 2x_2 \geq -2 \end{cases}$

## Расчетно-графическое задание №2

Решить задачу линейного программирования симплекс-методом с помощью надстройки «Поиск решения». Проверить задачу на устойчивость. Определить теневые цены. Решить двойственную задачу. Сравнить результаты прямой и двойственной задачи. Составить сценарии для разных вариантов исходных данных. При вариации исходных данных рассмотреть сценарии изменения коэффициентов целевой функции и правых частей ограничений.

1. Фирма выпускает изделия двух типов, А и В. При этом используется сырье четырех видов. Расход сырья каждого вида на изготовление единицы продукции и запасы сырья заданы в таблице:

Изделие	Сырье			
	1	2	3	4
А	2	1	0	2
В	3	0	1	1

Запасы сырья первого вида составляют 21 ед., второго вида – 4 ед., третьего – 6 ед. и четвертого – 10 ед. Выпуск одного изделия типа А приносит доход 300 ден. ед., одного изделия типа В – 200 ден. ед.

Составить план производства, обеспечивающий фирме наибольший доход.

2. Обработка деталей А и В может производиться на трех станках. Причем каждая деталь при ее изготовлении должна последовательно обрабатываться на каждом из станков. Прибыль от реализации детали А – 100 ден.ед., детали В – 160 ден.ед. Исходные данные приведены в таблице.

Станок	Норма времени на обработку одной детали, ч		Время работы станка, ч
	А	В	
1	0,2	0,1	100
2	0,2	0,5	180
3	0,1	0,2	100

Определить производственную программу, максимизирующую прибыль при условии: спрос на деталь А не менее 300 шт., на деталь В – не более 200 шт.

3. В суточный рацион цыплят включают два продукта питания,  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , причем продукта  $\Pi_1$  должно войти в дневной рацион не более 200 ед. Стоимость одной единицы продукта  $\Pi_1$  составляет 2 ден.ед., продукта  $\Pi_2$  – 4 ден.ед. Содержание питательных веществ в одной единице продукта, минимальные нормы потребления указаны в таблице.

Питательное вещество	Минимальная норма потребления, ед/день	Содержание питательных веществ в 1 ед. продукта	
		$\Pi_1$	$\Pi_2$
А	120	0,2	0,2
В	160	0,4	0,2

Определить оптимальный рацион питания, стоимость которого будет наименьшей.

4. Туристическая фирма в летний сезон обслуживает в среднем 7500 туристов в месяц и располагает флотилией из двух типов судов, характеристики которых представлены в таблице.

Показатели	Судно	
	I	II
Пассажировместимость, чел.	2000	1000
Горючее, т	12000	7000
Экипаж, чел.	125	100

В месяц выделяется 60000т горючего. Потребность в рабочей силе не превышает 600 чел.

Определить количество судов I и II типа, чтобы обеспечить максимальный доход, который составляет от эксплуатации судов I типа 20 млн. руб., а II типа – 10 млн. руб.

5. Фирма производит для автомобилей запасные части типа А и В. Фонд рабочего времени составляет 5000 чел.-ч в неделю. Для производства одной детали типа А требуется 1 чел.-ч, а для производства одной детали типа В – 2 чел.-ч. Производственная мощность позволяет выпускать максимум 2500 деталей типа А и 2000 деталей типа В в неделю. Для производства деталей типа А уходит 2 кг полимерного материала и 5 кг листового металла, а для производства одной детали типа В – 4 кг полимерного материала и 4 кг листового металла. Еженедельные запасы каждого материала – соответственно 10 и 12 т. Общее число производимых деталей в течение одной недели должно составлять не менее 1500 штук.

Определите, сколько деталей каждого вида следует производить, чтобы обеспечить максимальный доход от продажи за неделю, если доход от продаж одной детали типа А и В составляет соответственно 110 и 150 руб.

6. Предприятие располагает ресурсами двух видов в количестве 120 ед. и 80 ед. соответственно. Эти ресурсы используются для выпуска продукции I и II, причем расход на изготовление единицы продукции первого вида составляет 2 ед. ресурса первого вида и 2 ед. ресурса второго вида, продукции второго вида - 3 ед. ресурса первого вида и 1 ед. ресурса второго вида. Доход от реализации единицы продукции первого вида составляет 6 ден. ед., второго вида - 4 ден. ед.

Составить план выпуска продукции, обеспечивающий наибольшую прибыль, при условии, что продукции первого вида должно быть выпущено не менее продукции второго вида.

7. Предприятие производит два типа письменных столов, для чего использует 4 вида ресурсов в количествах, указанных в таблице.

Ресурсы	Запасы ресурсов	Расход ресурсов на производство 1 стола	
		тип 1	тип 2
Доски стандартного сечения, м	28	3	2
Металлическая арматура, кг	24	1	3
Человеко - часы	27	2	3
Лак, кг	18	2	1
Прибыль, ден. ед.		15	20

Определить план выпуска столов, обеспечивающий наибольшую прибыль.

8. Кирпичный завод выпускает кирпичи двух марок (I и II). Для производства кирпича применяется глина 3 видов (А, В и С). По месячному плану завод должен выпустить 10 усл. ед. кирпича марки I и 15 усл. ед. кирпича марки II. В таблице указаны расход различных видов глины для производства 1 усл. ед. кирпича каждой марки и месячный запас глины.

Какова наибольшая прибыль, если известно, что от реализации 1 усл. ед. кирпича марки I завод получает прибыль, равную 4 ден. ед., а марки II - 7 ден. ед.?

Марка кирпича	Количество глины, необходимое для производства 1 усл. ед. кирпича		
	А	В	С
I	1	0	1
II	0	2	2
Запасы глины	15	36	47

**9.** Продукцией молокозавода являются молоко и кефир, расфасованные в бутылки. На производство 1 т молока и 1 т кефира требуется 1010 кг и 1020 кг молока соответственно. Затраты рабочего времени при разливе 1 т молока и 1т кефира составляют 0,18 и 0,19 машино-часов. Всего для производства продукции завод может использовать 200 т молока, а оборудование может использовать не более 22 машино-часов. Прибыль от реализации 1 т молока и кефира составляет соответственно 30 ден. ед. и 20 ден. ед. Завод должен ежедневно производить не менее 100 т молока, расфасованного в бутылки.

Составьте план ежедневного выпуска молока и кефира для достижения максимальной прибыли

**10.** Предприятию нужно изготовить два вида продукции, для обработки которой используются 4 группы машин. Время, необходимое машине для обработки единицы каждого вида продукции, время машинной работы за год, а также прибыль от реализации единицы каждого вида продукции приведены в таблице.

Тип машины	Виды продукции		Общее время машинной работы за год
	продукция I	продукция II	
A	3	5	1500
B	2	1	600
C	3	8	1200
D	0	3	450
Прибыль на ед. продукции	1	5	

Сколько продукции каждого вида необходимо выпустить, чтобы обеспечить максимальную прибыль?

**11.** При изготовлении 2 видов изделий А и В фабрика расходует в качестве сырья сталь и цветные металлы, имеющиеся в ограниченном количестве. На изготовление этих изделий заняты токарные и фрезерные станки.

Виды ресурсов	Объем ресурсов	Нормы расхода на 1 изделие (ед.)	
		A	B
Сталь	570	10	70
Цветные металлы	420	20	50
Токарные станки	5600	300	400
Фрезерные станки	3400	200	100
Прибыль (ден. ед.)		300	800

Определить план выпуска продукции, при котором будет достигнута максимальная прибыль.

**12.** Цех выпускает трансформаторы видов А и В. На один трансформатор вида А расходуется 5 кг трансформаторного железа и 3 кг проволоки, а на трансформатор вида В - 3 кг железа и 2 кг проволоки. От реализации трансформатора вида А прибыль составляет 12 ден. ед., вида В - 10 ден. ед. Сменный фонд железа - 480 кг, проволоки - 300 кг.

Как следует спланировать выпуск трансформаторов, чтобы расход ресурсов не превышал выделенных фондов, а прибыль была наибольшей?

**13.** Для изготовления двух видов мебели используется 3 типа сырья, запасы которого и нормы расхода на единицу продукции заданы в таблице.

Вид мебели	Тип сырья			Прибыль (ден. ед.)
	I	II	III	
I	4	1	2	20
II	1	2	3	35



Запасы сырья, ед.	50	45	40
-------------------	----	----	----

Составить план производства мебели, при котором прибыль максимальна.

14. На судно грузоподъемностью 1000 т и емкостью трюмов 2400 м<sup>3</sup> необходимо погрузить товары А и В. Объемные коэффициенты товаров составляют соответственно  $3 \frac{\text{м}^3}{\text{т}}$  и  $1,2 \frac{\text{м}^3}{\text{т}}$ . На складе имеется 800 т товара А и большое количество товара А.

Прибыль от перевозки товара А 2 ден. ед., от перевозки товара В 3 ден. ед.

Каким образом надо загрузить судно, чтобы не превысить грузоподъемность и емкость трюмов, а стоимость перевозки была наибольшей?

15. Для производства двух видов сплавов используют в качестве добавок редкие металлы. Их запасы, нормы расхода на 1 т каждого сплава и прибыль от реализации 1 т каждого сплава приведены в таблице.

Вид сплава	Прибыль за 1 т (ден. ед.)	Содержание добавок в 1 т сплава (кг)		
		титан	молибден	хром
I	20	1	2	3
II	30	8	1	3
Запасы металлов (в кг)		500	800	600

Найти план выпуска сплавов, который дает максимальную прибыль.

16. На приобретение оборудования для нового производственного участка выделено 48 м<sup>2</sup> и 36 ден. ед. Предприятие может заказать машины типа А стоимостью 6 ден. ед., занимающие площадь (с учетом проходов) в 6 м<sup>2</sup> и выпускающие 7 ед. продукции за смену, и машины типа В стоимостью 3 ден. ед., занимающие площадь в 18 м<sup>2</sup> и обеспечивающие выпуск 10 ед. продукции за смену. При этом следует учесть, что машин типа А можно заказать не более 5 штук. Денежные затраты и производственная площадь, занимаемая купленным оборудованием, не должны превышать указанных значений.

Сколько надо закупить оборудования, чтобы сменный выпуск продукции новым участком был наибольшим?

17. Трикотажное ателье изготавливает женские кофточки видов А и В. Запас пряжи, ее расход на одно изделие и цена готового изделия приведены в таблице.

Пряжа	Расход на изделие, кг		Запас, кг
	А	В	
Бежевая	0,05	0,1	20
Салатная	0,1	0,2	60
Коричневая	0,3	0,1	50
Цена (ден. ед.)	250	300	

Как надо расходовать пряжу, чтобы ее расход не превышал имеющегося запаса, а сумма от реализации готовой продукции максимальна?

18. Определяя оптимальный суточный рацион кормления скота, учитывают следующие данные о составе кормов, их ресурсах на один рацион и необходимых нормах потребления полезных веществ:

Корма	Ресурсы (кг)	Содержание в 1 кг кормов			
		корм. ед.	белок	кальций	фосфор
Сено	50	0,5	0,04	0,01	0,02
Силос	85	0,5	0,01	0,02	0,01
Нормы потребления (не менее)		30	1	0,1	0,08

Определите рацион с минимальной стоимостью, если стоимость 1 кг сена равна 12 ден. ед., 1 кг силоса - 8 ден. ед.

**19.** На животноводческой ферме при откорме телят в их рацион необходимо включить не менее 9 ед. белков, не менее 6 ед. жиров, не менее 8 ед. углеводов и не более 19 ед. нитратов. Для откорма телят можно закупить два вида кормов. Содержание питательных веществ в корме I составляет : 3 ед. белков, 1 ед. жиров, 1 ед. углеводов и 2 ед. нитратов, а в корме II соответственно : 1 ед., 3 ед., 8 ед., 4 ед. Один килограмм корма I стоит 60 ден. ед., а килограмм корма II - 10 ден. ед.

Составить наиболее дешевый рацион питания, обеспечивающий необходимое количество питательных веществ каждому животному.

**20.** Кондитерская фабрика для производства двух видов карамели А и В использует три вида сырья: сахар, патоку и фруктовое пюре. Нормы расхода сырья каждого вида на производство 1 т карамели, запасы сырья и прибыль от реализации 1 т карамели указаны в таблице.

Вид сырья	Запасы сырья, т	Нормы расхода сырья (т) на 1кг карамели	
		А	В
Сахар	800	0,6	0,5
Патока	500	0,3	0,1
Фруктовое пюре	300	0,1	0,4
Прибыль от реализации 1 т карамели		200	350

Найти план производства карамели, обеспечивающий наибольшую прибыль от ее реализации.

**21.** Мебельная фабрика выпускает стулья двух типов. На изготовление одного стула первого типа, стоящего 80 ден. ед., расходуется 2 м досок; 0,5 м<sup>2</sup> обивочной ткани и 2 чел.-ч рабочего времени. Аналогичные данные для стульев 2-го типа составляет: 120 ден. ед., 4м; 0,25 м<sup>2</sup> и 2,5 чел.-ч. На фабрике имеется 440 м досок, 65 м<sup>2</sup> обивочной ткани и планируется затратить 320 чел.-ч рабочего времени.

Какие стулья и в каком количестве надо выпускать, чтобы стоимость продукции была максимальна?

**22.** Малое предприятие арендовало мини-пекарню для производства чебуреков и беляшей. Мощность пекарни позволяет выпускать в день не более 50 кг продукции. Ежедневный спрос на чебуреки не превышает 260 шт., а на беляши – 240 шт. Суточные запасы теста и мяса и расходы на производство каждой единицы продукции приведены в таблице.

Вид сырья	Расходы на производство, кг/шт.		Суточные запасы сырья, кг
	чебурека	беляша	
Мясо	0,035	0,06	21
Тесто	0,065	0,03	22
Цена,руб./шт	5	4,8	

Определить оптимальный план ежедневного производства чебуреков и беляшей, обеспечивающий максимальную выручку от продажи.

**23.** Биржевой маклер хочет вложить в акции некоторую сумму денег с тем, чтобы к концу года иметь 10 тыс. долл. Существует два типа акций, в которые стоит делать вложения: акции надежных компаний с минимальным риском (так называемые «голубые фишки»), приносящие в среднем 10% годовых, и акции компаний, занимающихся высокими технологиями. Последние акции имеют более высокую доходность – в среднем 25% годовых, однако они значительно более рискованные. Поэтому маклер решил вкладывать в них не более 60% средств.

Каких акций и на какую сумму надо приобрести маклеру, чтобы достичь желаемой цели?

**24.** Мебельная фабрика для сборки столов и стульев привлекает к работе на 10 дней четырех столяров. Каждый столяр тратит 2 часа на сборку стола и 30 минут – на сборку стула. Покупатели обычно приобретают вместе со столом от четырех до шести стульев. Доход от одного стола составляет 135 долл. И 50 долл. – от одного стула. На фабрике установлен 8-часовой рабочий день.

Определите структуру производства (на 10 рабочих дней), которая максимизировала бы суммарный доход.

**25.** Магазин V&K продает два вида безалкогольных напитков: колу A1 известного производителя и колу V&K собственного производства. Доход от одной банки колы A1 составляет 5 центов, тогда как доход от одной банки собственного производства – 7 центов. В среднем за день магазин продает не более 500 банок обоих напитков. Несмотря на то, что A1 – известная торговая марка, покупатели предпочитают колу V&K, поскольку она значительно дешевле. Подсчитано, что объемы продаж колы V&K и A1 (в натуральном исчислении) должны соотноситься не менее 2:1. Кроме того, известно, что магазин продает не менее 100 банок колы A1 в день.

Сколько банок каждого напитка должен иметь магазин в начале рабочего дня для максимизации дохода?

**26.** Завод Electra производит два типа двигателей, каждый на отдельной сборочной линии. Производительность этих линий составляет 600 и 750 двигателей в день. Двигатель первого типа использует 10 единиц некоего комплектующего, а двигатель второго типа – 8 единиц этого же компонента. Поставщик может обеспечить в день 8000 единиц этих деталей. Доходность изготовления двигателя первого типа составляет 60, второго – 40 долл.

Определите оптимальную структуру ежедневного производства двигателей.

**27.** Банк Elkins в течение нескольких месяцев планирует вложить до 200000 долл. в кредитование частных лиц (клиентов) и покупок автомобилей. Банковские комиссионные составляют 14% при кредитовании частных лиц и 12% при кредитовании покупок автомобилей. Оба типа кредитов возвращаются в конце годового периода кредитования. Известно, что около 3% клиентских и 2% автомобильных кредитов никогда не возвращаются. В этом банке объемы кредитов на покупку автомобилей обычно более чем в два раза превышают объемы других кредитов для частных лиц.

Найдите оптимальное размещение средств по двум описанным видам кредитования и определите коэффициент возврата по всем кредитам.

**28.** Консервный завод перерабатывает за смену 60000 кг спелых помидоров (7 руб. за кг) в томатный сок и пасту. Готовая продукция пакетируется в упаковки по 24 банки. Производство одной банки сока требует одного кг спелых помидоров, а одной банки пасты – трети кг. Заводской склад может принять за смену только 2000 упаковок сока и 6000 упаковок пасты. Оптовая цена одной упаковки томатного сока составляет 540 руб., одной упаковки томатной пасты – 270 руб.

Определите оптимальную структуру производства консервного завода.

**29.** Компания имеет возможность рекламировать свою продукцию по местному радио и телевидению. Бюджет на рекламу ограничен суммой 10 000 долл. в месяц. Одна минута рекламного времени на радио стоит 15, а на телевидении – 300 долл. Компания предполагает, что реклама на радио по времени должна превышать рекламу на телевидении не менее сем в два раза. Вместе с тем, известно, что нерационально использовать более 400 минут рекламы на радио в месяц. Последние исследования показали, что реклама на телевидении в 25 раз эффективнее рекламы на радио.

Разработайте оптимальный бюджет для рекламы на радио и телевидении.

**30.** Факультет послевузовского обучения местного колледжа города Озарк предлагает в общей сложности до 30 курсов каждый семестр. Все курсы условно можно

разбить на два типа: практические, такие как, обучение работе на компьютере, ремонт автомобиля и др., и гуманитарные, например, исторические знания, творческие мастерские и др. Чтобы удовлетворить запросы обучающихся, в каждом семестре должно предлагаться не менее 10 курсов каждого типа. Факультет оценивает доход от одного практического курса в 1500, а гуманитарного – 1000 долл.

Какова оптимальная структура курсов для факультета?

**31.** Компания производит два вида продукции А и В. Объем продаж продукта А составляет не менее 80% от общего объема продаж продуктов А и В. Вместе с тем, компания не может производить более 100 единиц продукта А в день. Для производства этих продуктов используется одно и то же сырье, поступление которого ограничено 240 фунтами в день. На изготовление единицы продукта А расходуется 2 фунта сырья, а единицы продукта В – 4 фунта. Цена одной единицы продуктов А и В составляет 20 и 50 долл. соответственно.

Найдите оптимальную структуру производства компании.

**32.** Завод бытовой химии производит два вида чистящих средств, А и В, используя при этом сырье I и II. Для производства чистящих средств ежедневно имеется 150 единиц сырья. На получение одной единицы средства А используется 0,5 единицы сырья I и 0,6 единицы сырья II. На производство одной единицы средства В затрачивается 0,5 единицы сырья I и 0,4 единицы сырья II. Доход на единицу средств А и В составляет соответственно 8 и 10 долл. Ежедневное производство средства А должно быть не менее 30 и не более 150 единиц. Для производства средства В аналогичные ограничения составляют 40 и 200 единиц.

Найдите оптимальную структуру выпуска чистящих средств.

#### 4.2.2. Тесты

##### ЗАДАНИЕ № 1.

Графоаналитическим методом найти максимум функции  $f(X) = 2x_1 - 6x_2$  при ограничениях

$$\begin{cases} x_1 + x_2 \geq 2 \\ x_1 + 2x_2 \leq 8 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

##### **ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:**

- 1) 2.
- 2) 14.
- 3) 16.
- 4) 15.

**ЗАДАНИЕ № 2.** Графоаналитическим методом решить задачу линейного программирования

$$\begin{aligned} & x_1 + 2x_2 \rightarrow \min; \\ & \begin{cases} 2x_1 + x_2 \geq 3 \\ x_1 + x_2 \geq 2 \end{cases} \\ & x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{aligned}$$

##### **ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:**

- 1) 1.
- 2) 2.
- 3) 3.
- 4) 4.

**ЗАДАНИЕ № 3.** Найдите замкнутые транспортные задачи линейного программирования, если транспортные таблицы имеют вид

ПО \ ПН	$B_1$	$B_2$	$B_3$	Запасы $a_i$
$A_1$	2	5	2	90
$A_2$	4	1	5	40 0
$A_3$	3	6	8	11 0
Заявки $b_j$	140	300	160	

ПО \ ПН	$B_1$	$B_2$	$B_3$	Запасы $a_i$
$A_1$	2	5	2	90
$A_2$	4	1	5	40 0
$A_3$	3	6	8	14 0
Заявки $b_j$	140	300	160	

ПН \ ПО	$B_1$	$B_2$	$B_3$	Запасы $a_i$
$A_1$	2	5	2	80
$A_2$	4	1	5	40 0
$A_3$	3	6	8	11 0
Заявки $b_j$	140	300	160	

ПО \ ПН	$B_1$	$B_2$	$B_3$	Запасы $a_i$
$A_1$	2	5	2	90
$A_2$	4	1	5	41 0
$A_3$	3	6	8	11 0
Заявки $b_j$	140	300	160	

**ЗАДАНИЕ № 4** (выберите один вариант ответа)

Линейное программирование - это:

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:**

- 1) Кейс нахождения условного экстремума линейной целевой функции с произвольными ограничениями.

- 2) Кейс нахождения безусловного экстремума линейной целевой функции.
- 3) Кейс нахождения условного экстремума линейной целевой функции с линейными ограничениями.
- 4) Кейс компьютерного решения системы линейных уравнений.

**ЗАДАНИЕ № 5** (выберите несколько вариантов ответа)

Допустимым решением называют решение, которое:

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:**

- 1) Удовлетворяет всем ограничениям.
- 2) Максимизирует целевую функцию и удовлетворяет ограничениям.
- 3) Минимизирует целевую функцию.
- 4) Удовлетворяет только ограничениям – равенствам.

**ЗАДАНИЕ № 6** (выберите несколько вариантов ответа)

В графическом методе задачи линейного программирования каждому базисному решению соответствует:

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:**

- 1) Угловая точка области допустимых решений.
- 2) Пара угловых точек области допустимых решений.
- 3) Множество точек поверхности безразличия решений.
- 4) Грань области допустимых решений.

**ЗАДАНИЕ № 7** (выберите один вариант ответа)

В задаче об использовании ресурсов ищутся:

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:**

- 1) Оптимальные цены на выпускаемую продукцию.
- 2) Оптимальный запас дефицитных ресурсов.
- 3) Оптимальные виды выпускаемой продукции.
- 4) Оптимальная прибыль.

**ЗАДАНИЕ № 8** (выберите один вариант ответа)

В основе симплексного метода лежит:

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:**

- 1) Переход к другой угловой точке ОДР, оптимизирующий решение.
- 2) Случайный переход к другой угловой точке области допустимых решений (ОДР).
- 3) Случайный переход к соседней угловой точке ОДР.
- 4) Переход к соседней угловой точке ОДР, оптимизирующий решение.

**ЗАДАНИЕ № 9** (выберите один вариант ответа)

Основной целью транспортной задачи является:

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:**

- 1) Нахождение всех допустимых схем перевозки.
- 2) Нахождение оптимальной схемы перевозки.
- 3) Определение объемов запаса в начальных пунктах.
- 4) Определение востребованного объема груза в конечных пунктах.

**ЗАДАНИЕ № 10** (выберите несколько вариантов ответа)

Динамическое программирование:

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:**

- 1) Подразумевает обязательную зависимость целевой функции от времени.
- 2) Позволяет разбить задачу оптимизации на этапы.
- 3) Основывается на составлении рекуррентной системы уравнений, связывающей целевые функции на различных этапах.
- 4) Имеет своей целью нахождение управляющих переменных, приводящих к оптимальному решению задачи в целом.

**ЗАДАНИЕ № 11.** (выберите один вариант ответа)

Основной целью задачи сетевого программирования является:

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:**

- 1) Нахождение критического пути.
- 2) Построение сети.
- 3) Оптимизация сети.
- 4) Установление связей между элементами сети.

**Ключи к ответам:**

- 1) 3.
- 2) 2.
- 3) 1.
- 4) 3
- 5) 1,2.
- 6) 1,4.
- 7) 4.
- 8) 4.
- 9) 2.
- 10) 1,2.
- 11) 1.

**4.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации.**

Таблица 4.2

Код компетенции	Наименование компетенции	Код этапа освоения компетенции	Наименование этапа освоения компетенции
ДПК-29	способность использовать основные методы математических и естественнонаучных дисциплин в профессиональной информационно-аналитической деятельности	ДПК -29.1	Способность использовать методы классической и дискретной математики при решении абстрактных математических задач. Способность использовать навыки алгоритмизации для решения прикладных задач

Таблица 4.3

Этап освоения компетенции	Показатель оценивания	Критерий оценивания
ДПК -29.1	1. Самостоятельно решает задачи классической (математического анализа, линейной алгебры и аналитической геометрии, дифференциальных и разностных уравнений) и	1. Правильное решение задачи. Описан путь ее решения, используемые теоретические положения. 2. Правильные ответы на поставленные вопросы

Этап освоения компетенции	Показатель оценивания	Критерий оценивания
	<p>дискретной математики</p> <p>2. Самостоятельно разрабатывает алгоритмы решения поставленной задачи</p> <p>3. Решает задачи, требующие комплексного использования нескольких тем учебной дисциплины.</p> <p>4. Способен объяснить ход решения задачи и используемые теоретические положения</p>	

Для оценки сформированности компетенций, знаний и умений, соответствующих данной компетенции, используются контрольные вопросы, а также задачи, при решении которых необходимо решить задачи исследования операций.

#### 4.3.1 Типовые вопросы, выносимые на зачет:

1. Воспроизвести общую формулировку исследования операций.
2. Классифицировать задачи исследования операций, а также задач оптимизации.
3. Дать характеристику задач математического программирования.
4. Сделать обзор классических задач оптимизации. Сформулировать необходимые и достаточные условия экстремума для задач различной размерности. Дать определение матрицы Гессе.
5. Объяснить основные теоремы математического программирования, их роль в исследовании операций.
6. Описать содержание задачи условной оптимизации. Определить выпуклые и вогнутые множества и функции.
7. Дать определение функции и множители Лагранжа. Определить окаймленную матрицу Гессе. Привести примеры.
8. Воспроизвести математическую постановку задач линейного программирования. Дать экономическую интерпретацию задач линейного программирования.
9. Характеризовать графо-аналитический метод решения задачи линейного программирования. Привести примеры.
10. Определить симплекс-метод решения задачи линейного программирования.
11. Характеризовать каноническое представление задачи линейного программирования. Определить начальное решение задачи линейного программирования.
12. Характеризовать табличный способ решения задачи линейного программирования. Привести пример решения задачи максимизации.
13. Дать характеристику М-метода решения задачи линейного программирования.
14. Определить двойственную задачу линейного программирования. Указать симметричные, несимметричные и смешанные задачи.
15. Обсудить теоремы двойственной теории линейного программирования. Показать примеры их использования для решения задач оптимизации.
16. Дать экономическое содержание двойственной задачи линейного программирования. Дать определение теневой цены.



17. Объяснить понятие устойчивости решения задачи линейного программирования.
18. Описать организацию решения задачи линейного программирования с помощью надстройки «Поиск решения». Привести пример.
19. Описать содержание и организацию получения отчетов задачи линейного программирования с помощью надстройки «Поиск решения». Привести пример.
20. Дать определение транспортной задачи линейного программирования.
21. Описать способы построения опорного плана транспортной задачи линейного программирования. Привести примеры.
22. Характеризовать открытую и закрытую транспортные задачи. Уточнить организацию их решения.
23. Объяснить организацию поиска оптимального плана транспортной задачи методом потенциалов.
24. Дать характеристику задачи о назначениях. Привести пример ее решения.
25. Привести математическую постановку и классификацию задач нелинейного программирования.
26. Привести организацию и примеры решения задач нелинейного программирования графо-аналитическим методом.
27. Дать определение задачи выпуклого программирования. Сформулировать условия Куна-Таккера.
28. Характеризовать обобщенный метод множителей Лагранжа.
29. Описать дробно-линейные задачи нелинейного программирования, организацию их решения. Привести примеры.
30. Характеризовать численные методы решения задач нелинейного программирования.
31. Дать общую характеристику метода динамического программирования. Сформулировать допущения метода динамического программирования.
32. Сформулировать принцип оптимальности Беллмана.
33. Привести примеры решения задач динамического программирования, задачи о ранце.

#### 4.3.2. Типовые контрольные задания на зачет:

**Кейс 1.** Решить графоаналитическим способом задачу линейного программирования

$$Z = 2x_1 + 2x_2 \rightarrow \max;$$

$$\begin{cases} 3x_1 - 2x_2 \geq 4 \\ x_1 + x_2 \geq 4 \\ x_1 \leq 3 \end{cases}$$

Проверить правильность решения с помощью надстройки «Поиск решения». Представить решение задачи графически в excel.

**Кейс 2.** Исследовать на экстремум функцию  $z = x^3 - y^2 + 2xy^2 - x$ . Построить поверхность в excel.

**Кейс 3.** Исследовать на оптимальность функцию

$$Z(x_1, x_2, x_3) = x_1^2 - x_2^2 + x_3^2,$$

при ограничениях:  $g_1(x_1, x_2, x_3) = x_1 + 2x_2 + x_3 = 6$ .

Сравнить с решением в excel

**Кейс 4.** Графоаналитическим методом найти максимум функции  $f(X) = x_2 + 2x_1$

при ограничениях

$$\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 2 \\ -x_1 + 2x_2 \leq 4 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Проверить правильность решения с помощью надстройки «Поиск решения».

Решить задачу в R. Для решения задачи использовать функцию simplex в библиотеке boot

**Кейс 5.** Симплекс-методом решить задачу линейного программирования

$$Z = f(x_1, x_2) = 2x_1 + x_2 \rightarrow \max;$$

$$\begin{cases} 2x_1 + 2x_2 \leq 3 \\ x_1 + 3x_2 \leq 6 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Проверить правильность решения с помощью надстройки «Поиск решения». Создать сценарий при условии, что во втором сценарии  $b_1=5$ . В третьем сценарии  $b_2=10$

**Кейс 6.** Табличным способом минимизировать функцию  $f(X) = 12x_1 + 4x_2$  при ограничениях  $x_1 + x_2 \geq 2$ ;  $x_1 \geq 1/2$ ;  $x_2 \leq 4$ ;  $x_1 - x_2 \leq 0$ .

Проверить правильность решения с помощью надстройки «Поиск решения». Представить решение задачи графически с помощью диаграмм excel. Создать отчеты на пределы, устойчивость и результаты

**Кейс 7.** Представить в каноническом виде задачу линейного программирования. Решить задачу методом М-штрафов

$$f(X) = 5x_1 + 6x_2 \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} x_2 - 2x_1 \leq 2; \\ x_1 + 2x_2 \geq 24; \\ x_i \geq 0, \quad i = \overline{1, 2}. \end{cases}$$

Сравнить результаты решения с решением задачи в excel.

Решить задачу в R. Для решения задачи использовать функцию simplex в библиотеке boot

**Кейс 8.** Исходная Кейс имеет вид:

$$f(X) = 3x_1 + x_2 - 3x_3 + x_4 \rightarrow \min;$$

$$\begin{cases} 2x_1 - x_2 + 3x_3 - x_4 = 9 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 - 6x_3 - x_4 = 6 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_j \geq 0, \forall j = \overline{1, 4} \end{cases}$$

Построить и решить двойственную задачу линейного программирования. Проверить правильность решения с помощью надстройки «Поиск решения».

Решить задачу в R. Для решения задачи использовать функцию simplex в библиотеке boot

**Кейс 9.** Найти опорный план методом северо-западного угла и методом минимального элемента план, если транспортная таблица имеет вид

	B1	B2	B3	ai
A1	3	2	5	80
A2	4	3	6	20
A3	2	5	3	40
bj	60	50	30	

Сравнить значения целевой функции двух полученных опорных планов.

**Кейс 10.** Пусть опорное решение имеет вид

ПО \ ПН	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	Запасы a <sub>i</sub>
5. A	90	2	5
A <sub>2</sub>	4	300	1
A <sub>3</sub>	50	3	6
Заявки b <sub>j</sub>	140	300	

Найти оптимальное решение транспортной задачи линейного программирования методом потенциалов. Проверить правильность решения с помощью надстройки «Поиск решения».

**Кейс 11.** Обобщенным методом Лагранжа найти решение задачи оптимизации

$$Z(x_1, x_2) = (x_1 - 5)^2 + (x_2 - 4)^2,$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 8$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$$

Сравнить решение в excel

**Кейс 12.** Графоаналитическим методом решить задачу нелинейного программирования

$$f(X) = (x_1 - 6)^2 + (x_2 - 5)^2;$$

$$\begin{cases} 2x_1 + x_2 \leq 8 \\ x_1 + x_2 \leq 6 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Найти (при условии существования) минимум и максимум. Проверить правильность решения с помощью надстройки «Поиск решения». Составить сценарий, в состав которого войдут две задачи: нахождения минимума и нахождения максимума

**Кейс 13.** Решить двойственную задачу линейного программирования с помощью симплекс-метода. Сравнить решение с результатом решения в excel. Исследовать на устойчивость прямую и двойственную задачи.

$$Z = f(x_1, x_2) = 2x_1 + x_2 \rightarrow \max;$$

$$\begin{cases} 2x_1 + 2x_2 \leq 3 \\ x_1 + 3x_2 \leq 6 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Объяснить составляющие отчета по устойчивости.

**Кейс 14.** Построить начальный базис для целевой функции  $f(X) = 5x_1 + 6x_2 - x_3 \rightarrow \max$  при следующих линейных ограничениях:

$$\begin{cases} 2x_1 + x_2 \leq 15 \\ 2x_2 + 3x_3 \leq 10 \end{cases},$$

Решить задачу линейного программирования в excel. Отобразить шаги решения задачи. Каждый шаг решения представить в виде сценария.

Решить задачу в R. Для решения задачи использовать функцию simplex в библиотеке boot

**Кейс 15.** Построить начальный базис для следующей задачи. Модель ЛП формулируется следующим образом: найти переменные  $x_1, x_2, x_3$ , обращающие целевую функцию  $f(X) = 30x_1 + 23x_2 + 35x_3$  в максимум при следующих линейных ограничениях:

$$\begin{cases} 6x_1 + 5x_2 + 3x_3 \leq 50; \\ 4x_1 + 2x_2 + 5x_3 \leq 40; \\ x_1 + x_2 \geq 4; \\ x_1 + x_3 \geq 3; \\ x_3 \geq 2; \\ x_1 + 2x_2 + x_3 = 10; \\ x_i \geq 0, \quad i = \overline{1, 3}. \end{cases}$$

Задачу решить с помощью надстройки «Поиск решения». Проверить устойчивость и пределы решения задачу. Построить сценарий для нескольких вариантов решения задачи с учетом изменения ограничений на ценные ресурсы.

**Кейс 16.** Решить дробно-линейную задачу нелинейного программирования,

$$\begin{aligned} f &= \frac{x_1 + 3x_2}{2x_1 + x_2} \rightarrow \max; \\ \begin{cases} x_1 + 2x_2 \leq 8 \\ 2x_1 + x_2 \leq 5 \end{cases} \end{aligned}$$

После получения линейной задачи найти решение с помощью надстройки «Поиск решения».

**Кейс 17.** Решить задачу методом последовательных уступок,

1.  $u_1 = 2x_1 + 4x_2 \rightarrow \max$ ;
  2.  $u_2 = 2x_1 + x_2 \rightarrow \max$ ;
- $$2x_1 + 3x_2 \leq 40;$$
- $$x_1 + 2x_2 \leq 50;$$
- $$x_1, x_2 \geq 0.$$

Использовать уступку для первого критерия равной 20%

**Шкала оценивания.**

Оценка результатов производится на основе балльно-рейтинговой системы (БРС). Использование БРС осуществляется в соответствии с приказом от 28 августа 2014 г. №168 «О применении балльно-рейтинговой системы оценки знаний студентов». БРС по дисциплине отражена в схеме расчетов рейтинговых баллов (далее – схема расчетов). Схема расчетов сформирована в соответствии с учебным планом направления, согласована с руководителем научно-образовательного направления, утверждена деканом факультета. Схема расчетов доводится до сведения студентов на первом занятии по данной дисциплине и является составной частью рабочей программы дисциплины и содержит информацию по изучению дисциплины, указанную в Положении о балльно-рейтинговой системе оценки знаний обучающихся в АНОВО «Институт социальных наук»

На основании п. 14 Положения о балльно-рейтинговой системе оценки знаний обучающихся в АНОВО «Институт социальных наук» принята следующая шкала перевода оценки из многобалльной системы в пятибалльную:

Таблица 4.4

Количество баллов	Оценка	
	прописью	буквой
96-100	отлично	А
86-95	отлично	В
71-85	хорошо	С
61-70	хорошо	Д
51-60	удовлетворительно	Е

**5. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды аудиторных занятий: лекции, практические занятия, контрольные работы. На лекциях рассматриваются наиболее сложный материал дисциплины. Лекция сопровождается презентациями, компьютерными текстами лекции, что позволяет студенту самостоятельно работать над повторением и закреплением лекционного материала. Для этого студенту должно быть предоставлено право самостоятельно работать в компьютерных классах в сети Интернет.

Практические занятия предназначены для самостоятельной работы студентов по решению конкретных задач дискретно математики. Ряд практических занятий проводится в компьютерных классах с использованием Excel. Каждое практическое занятие сопровождается домашними заданиями, выдаваемыми студентам для решения внеаудиторное время. Для оказания помощи в решении задач имеются тексты практических заданий с условиями задач и вариантами их решения.

С целью контроля сформированности компетенций разработан фонд контрольных

заданий. Его использование позволяет реализовать балльно-рейтинговую оценку, определенную приказом от 28 августа 2014 г. №168 «О применении балльно-рейтинговой системы оценки знаний студентов».

С целью активизации самостоятельной работы студентов в системе дистанционного обучения Moodle разработан учебный курс «Исследование операций», включающий набор файлов с текстами лекций, практикума, примерами задач, а также набором тестов для организации электронного обучения студентов.

Для активизации работы студентов во время контактной работы с преподавателем отдельные занятия проводятся в интерактивной форме. В основном, интерактивная форма занятий обеспечивается при проведении занятий в компьютерном классе. Интерактивная форма обеспечивается наличием разработанных файлов с заданиями, наличием контрольных вопросов, возможностью доступа к системе дистанционного обучения, а также к тестеру.

Для работы с печатными и электронными ресурсами АНОВО «ИСН» имеется возможность доступа к электронным ресурсам. Организация работы студентов с электронной библиотекой указана на сайте института (странице сайта – «Научная библиотека»).

### Контрольные вопросы для подготовки к занятиям

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Вопросы для самопроверки
1	<b>Тема 1:</b> Формулировка задач математического программирования. Классическая оптимизация	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основная Кейс исследования операций.</li> <li>2. Математическое программирование.</li> <li>3. Основные разделы исследования операций.</li> <li>4. Классификация задач математического программирования</li> <li>5. Оптимальное решение</li> <li>6. Классические задачи безусловной оптимизации функции одной и нескольких переменных. Матрица Гессе.</li> <li>7. Условная оптимизация функции нескольких переменных</li> </ol>
2	<b>Тема 2:</b> Линейное программирование	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разделение переменных на базисные и независимые</li> <li>2. Построение области допустимых решений.</li> <li>3. Графический метод нахождения оптимального решения.</li> <li>4. Определение ценности ресурсов</li> <li>5. Определение предельно допустимого сокращения запаса недефицитного ресурса.</li> <li>6. Случай вырождения и случай альтернативных решений.</li> <li>7. Местонахождение оптимального решения в области допустимых решений.</li> <li>8. Выбор ведущего столбца и ведущей строки в симплекс – таблице.</li> <li>9. Процедура перехода к соседней угловой точке в процессе поиска оптимального решения.</li> <li>10. Критерий оптимальности решения</li> </ol>
3	<b>Тема 3.</b> Транспортная Кейс линейного программирования	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Метод северо – западного угла.</li> <li>2. Метод наименьших затрат.</li> <li>3. Метод Фогеля.</li> <li>4. Метод потенциалов.</li> </ol>
4	<b>Тема 4:</b> Нелинейное программирование. Введение в целочисленное программирование	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Условный и безусловный экстремумы.</li> <li>2. Нахождение условного экстремума методом Лагранжа.</li> <li>3. Решение задачи выпуклого программирования градиентным методом.</li> <li>4. Методы целочисленного линейного программирования.</li> </ol>
5	<b>Тема 5:</b> Многошаговые процессы принятия решений. Динамическое	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разбиение задачи на этапы</li> <li>2. Принцип оптимальности Беллмана</li> <li>3. Связь между независимыми переменными</li> </ol>

	программирование	4. Построение рекуррентных соотношений. 5. Оптимальное распределение капиталовложений между различными объектами инвестирования.
--	------------------	---

## **6. Учебная литература и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", включая перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

### **6.1 Основная литература**

1. Балдин К. В. Математические методы и модели в экономике [Электронный ресурс] : учебник / К. В. Балдин, В. Н. Башлыков, А. В. Рукосуев ; под общ. ред. К. В. Балдина. - Электрон. дан. - М. : Флинта [и др.], 2012. - 326 с.  
Балдин К. В. Математическое программирование: учебник : для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Экономика" и эконом. специальностям, рек. М-вом образования Рос. Федерации / К. В. Балдин, Н. А. Брызгалов, А. В. Рукосуев ; под общ. ред. К. В. Балдина. - 2-е изд. - М. : Дашков и К, 2012. - 218 с.  
Евдонин Г. А. Математическое моделирование и управление социально-экономическими и политическими процессами: учеб. пособие для студентов вузов, рек. М-вом образования Рос. Федерации / Г. А. Евдонин. - СПб. : Изд-во СЗИ РАНХиГС, 2012. - 321 с.  
Исследование операций в экономике : учеб. пособие [по эконом. специальностям и направлениям], рек. М-вом образования Рос. Федерации / [Н. Ш. Кремер и др.] ; под ред. Кремера. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Юрайт, 2013. - 438 с.  
Черноруцкий И. Методы оптимизации. Компьютерные технологии [Электронный ресурс]: учеб. пособие / И. Черноруцкий. - СПб. : БХВ-Петербург, 2011. - 384 с.

Все источники основной литературы взаимозаменяемы.

### **6.2 Дополнительная литература:**

1. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и Кейсах: учеб. пособие / И. Л. Акулич. - Изд. 3-е, стер. - СПб. [и др.] : Лань, 2011. - 347 с.
2. Вагнер Г. Основы исследования операций. Т.1-3. - М.: Мир, 1973.
3. Гермейер Ю. Б. Введение в теорию исследования операций / Ю. Б. Гермейер. - М.: Наука, 1976.
4. Давыдов Э. Г. Исследование операций / Э. Г. Давыдов. - М.: Высш. шк., 1990.
5. Морозов В. В., Сухарев А. Г., Федоров В. В. Исследование операций в Кейсах и упражнениях. - М.: Высшая школа, 1986.
6. Таха Х. А. Введение в исследование операций / Х. А. Таха ; [пер. с англ. и ред. А. А. Минько]. - 7-е изд. - М. [и др.] : Вильямс, 2005. - 901 с.

### **6.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы.**

1. Положение об организации самостоятельной работы студентов Автономной некоммерческой организации «Институт социальных наук»
2. Положение о курсовой работе (проекте) выполняемой студентами АНОВО «Институт социальных наук»

### **6.4. Нормативные правовые документы.**

Не используются

## **6.5. Интернет-ресурсы.**

### **Русскоязычные ресурсы**

Электронные учебники электронно - библиотечной системы (ЭБС) «Айбукс»

Электронные учебники электронно – библиотечной системы (ЭБС) «Лань»

Рекомендуется использовать следующий интернет-ресурсы

<http://serg.fedosin.ru/ts.htm>

<http://window.edu.ru/resource/188/64188/files/chernyshov.pdf>

### **6.6. Иные источники.**

Не используются.

## **7. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы**

Курс включает использование программного обеспечения Microsoft Excel, Microsoft Word, Microsoft Power Point для подготовки текстового и табличного материала, графических иллюстраций, а также для решения задач эконометрического моделирования. Для решения задач исследования операций также должны использоваться пакеты математического моделирования.

Методы обучения с использованием информационных технологий (компьютерное тестирование, демонстрация мультимедийных материалов)

Интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта, профессиональные тематические чаты и форумы, системы аудио и видео конференций, онлайн энциклопедии, справочники, библиотеки, электронные учебные и учебно-методические материалы)

Система дистанционного обучения Moodle.

№ п/п	Наименование
1.	Компьютерные классы с персональными ЭВМ, объединенными в локальные сети с выходом в Интернет
	Пакет Excel -2013, 2016, professional plus
	Пакеты математического моделирования
	Мультимедийные средства в каждом компьютерном классе и в лекционной аудитории
	Браузер, сетевые коммуникационные средства для выхода в Интернет
	Система дистанционного обучения Moodle

Компьютерные классы из расчета 1 ПЭВМ для одного обучаемого. Каждому обучающемуся должна быть предоставлена возможность доступа к сетям типа Интернет в течение не менее 20% времени, отведенного на самостоятельную подготовку.