



**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
"Национальный исследовательский университет  
"Высшая школа экономики"**

Факультет бизнеса и менеджмента  
Школа логистики  
Кафедра логистики

**Рабочая программа дисциплины**

**«Экономико-математические методы и модели в логистике»**

для образовательной программы «Логистика и управление цепями поставок»  
направления подготовки 38.03.02. «Менеджмент»,  
уровень бакалавр

Разработчик программы: д. т. н., проф. Бродецкий Геннадий Леонидович (bgl@mclog.ru)

Одобрена на заседании кафедры логистики

«25» августа 2016 г

Зав. кафедрой В.В. Дыбская \_\_\_\_\_

Утверждена Академическим советом образовательной программы

« 25 » августа 2016 г., № протокола 15

Академический руководитель образовательной программы

В.В. Дыбская \_\_\_\_\_

Москва, 2016

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями  
университета и другими вузами без разрешения подразделения-разработчика программы.*

## 1. Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину «Экономико-математические методы и модели в логистике», учебных ассистентов и студентов направления подготовки 38.03.02. Менеджмент, обучающихся по образовательной программе «Логистика и управление цепями поставок».

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом НИУ ВШЭ по направлению подготовки 38.03.02 Менеджмент, профиль «Логистика и управление цепями поставок» [https://www.hse.ru/data/2015/05/20/1097268912/%D0%91%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D1%80%D0%B8%D0%B0%D1%82\\_%D0%9E%D0%A1\\_%D0%9C%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%B4%D0%B6%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82.pdf](https://www.hse.ru/data/2015/05/20/1097268912/%D0%91%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D1%80%D0%B8%D0%B0%D1%82_%D0%9E%D0%A1_%D0%9C%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%B4%D0%B6%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82.pdf);
- Образовательной программой направления подготовки 38.03.02. Менеджмент, «Логистика и управление цепями поставок».
- Объединенным учебным планом университета по образовательной программе «Логистика и управление цепями поставок», утвержденным в 2016 г.

## 2 Цели освоения дисциплины

Цели изучения дисциплины состоят в реализации требований, установленных в образовательном стандарте федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» по направлению подготовки 38.03.02 Менеджмент, профиль «Логистика и управление цепями поставок», квалификация: академический бакалавр.

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате изучения дисциплины студент должен:

- знать основные экономико-математические методы и модели, используемые при анализе логистических систем;
- свободно ориентироваться в прикладных математических работах, относящихся к их отрасли;
- уметь использовать в своей деятельности подходящие экономико-математические методы и модели;
- иметь представление о подходах к оценке адекватности математических моделей; устанавливать границы их применимости, правильно интерпретировать выводы из них в терминах собственной специальности;
- обладать навыками формулировать проблемы экономического анализа логистических систем на языке математики; изучать самостоятельно научную и учебно-методическую литературу по математическому моделированию логистических процессов.



Компетенция	Код по ОС ВШЭ	Уровень формирования компетенции	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции	Форма контроля уровня сформированности компетенции
Способен выявлять научную сущность проблем в профессиональной области.	УК-2	РБ,СД	1.1 Выявляет научную сущность проблем в логистике и цепях поставок 1.2 Решает задачи системного анализа в логистике на основе системного анализа.	Работа в малых группах, решение задач в аудитории, управляемая дискуссия	Опросы, тесты, домашние работы, контрольные работы.
Способен решать проблемы в профессиональной деятельности на основе анализа и синтеза	УК-3	РБ,СД	1.1 Идентифицирует проблемы в логистике и цепях поставок и формализует их как задачи системного анализа 1.2 Решает задачи системного анализа в логистике на основе системного анализа.	Работа в малых группах, решение задач в аудитории, подготовка домашних работ, письменные контрольные работы (80 мин.)	Опросы, тесты, домашние работы, контрольные работы.
способен выбирать математические модели организационных систем, анализировать их адекватность, проводить адаптацию моделей к конкретным задачам управления	ПК-22	РБ,СД	3.1. Выбирает соответствующие математические модели систем логистики надстроек MS Excel. 3.2. Анализирует результаты моделирования и докладывает полученные выводы в формате презентаций MS Office	Работа в малых группах, решение домашних задач в MS Excel, подготовка докладов	Опросы, тесты, домашние работы, доклады.

В результате освоения дисциплины студент осваивает следующие компетенции:



#### 4. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина является дисциплиной базовой профильной части направления подготовки программы "Логистика и управление цепями поставок" по направлению подготовки 38.03.02

#### 5 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	Практические занятия	Другие виды работы	
МОДУЛИ 4 (1 курс) учебный год 2015-2016							
1	РАЗДЕЛ 1. ВВЕДЕНИЕ						
1.1	Математические модели логистических систем: классификация, методология моделирования	12	2	-	-	-	10
2	РАЗДЕЛ 2. ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКИ В ЛОГИСТИКЕ						
2.1	Основы теории графов	16	2	2	-	-	12
2.2	Применение оптимизационных методов теории графов для решения задач логистики	20	2	4	-	-	14
РАЗДЕЛ 3. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПОТОКОВ В СЕТЯХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛОГИСТИКИ							
3.1	Экстремальные задачи для сетевых моделей	16	2	2	-	-	12
3.2	Модели транспортных задач как задач линейного программирования	18	4	4	-	-	10
3.3	Задача о	16	2	2	-	-	12



назначениях							
4	РАЗДЕЛ 4. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ						
4.1	Сетевые графики проектов: анализ методом критического пути	16	2	2			12
4.2	Методы планирования временных и ресурсных показателей	18	2	2			14
4.3	Методы планирования временных и ресурсных показателей	20	2	2			16
	Итого за 4 модуль (1 курс):	152	20	20			112
МОДУЛИ 1-3 (2 курс) учебный год 2017-2018							
5	РАЗДЕЛ 5. МЕТОД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ						
5.1	Общая схема метода	21	6	4			11
5.2	Основные процедуры метода в формате задач логистики	21	6	4			11
6	РАЗДЕЛ 6. МЕТОД ПЕРЕСТАНОВКИ АРГУМЕНТОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ИЗДЕРЖЕК В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК						
6.1	Минимизация издержек при выполнении портфеля заказов: модели учета штрафных функций	16	2	4			10
6.2	Минимизация издержек при выполнении портфеля заказов: модели учета контрактных цен и инфляции	16	2	4			10
	РАЗДЕЛ 7. ИНДЕКСНЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ						



7							
7.1	Аппарат индексов Гиттинса: максимизация показателей эффективности	14	4	2			8
7.2	Приложения индексных методов к реструктуризации издержек в логистике	12	2	2			8
8	РАЗДЕЛ 8. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ						
8.1	Базовые модели управления запасами и их модификации	12	4	4			-
8.2	Многопродуктовые стратегии управления запасами	12	2	2			8
8.3	Эффект временной стоимости денег для моделей управления запасами	14	4	2			8
9	РАЗДЕЛ 9. МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЛОГИСТИКИ						
9.1	Прогнозирование издержек методами теории случайных потоков событий	18	6	6			8
9.2	Прогнозирование структуры временных потерь при дискретном вмешательстве случая	19	6	5			8
10	РАЗДЕЛ 10 ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ						
10.1	Моделирование марковских систем обслуживания	16	4	4			8
	Итого за 1-3	190	48	42			72



	модуль (2 курс):						
	Итого по всей дисциплине:	314	68	62			184

## 6. Формы контроля знаний студентов

Тип контроля	Форма контроля	1 год				2 год				Параметры **
		1	2	3	4	1	2	3	4	
Текущий (неделя)	Контрольная работа №1				30					Письменная работа 80 минут
	Контрольная работа №2				37					Письменная работа 80 минут
	Контрольная работа №3					7				Письменная работа 80 минут
	Контрольная работа №4						14			Письменная работа 80 минут
	Контрольная работа №5							24		Письменная работа 80 минут
	Домашняя работа								23	Домашняя письменная работа по индивидуальному варианту
Промежуточный контроль	Экзамен				38					Экзамен состоит из письменной части (40 мин) и устной части
Итоговый	Экзамен							25		Экзамен состоит из письменной части (40 мин) и устной части

## 7. Критерии оценки знаний, навыков

Для текущего и итогового контроля предусмотрена следующая шкала

- менее 40% правильных ответов - 1
- [40 – 50]% - 2
- [51 - 59]% - 3
- [60 – 70]% - 4
- [71 – 80]% - 5
- [81 – 85]% - 6
- [86 – 90]% - 7
- [91 – 95]% - 8
- [96 – 99]% - 9
- 100% - 10

## 8. Содержание дисциплины

### 1. Разделы курса

- введение;
- применение дискретной математики в логистике;
- модели транспортных задач логистики;
- управление проектами;
- методы имитационного моделирования;
- метод перестановки аргументов при оптимизации издержек в логистике
- индексные методы оптимизации;
- математические модели управления запасами;
- методы прогнозирования в исследованиях логистики;
- элементы теории массового обслуживания.

### Темы и краткое содержание

#### РАЗДЕЛ 1. ВВЕДЕНИЕ

##### Тема 1.1. Математические модели логистических систем: классификация, методология моделирования

Логистическая система как объект математического моделирования. Формулировка организационно-экономической постановки задач логистики. Требования к математическим постановкам основных задач логистики. Требования к разработке алгоритмов решения задач логистики. Выбор программных средств реализации алгоритмов решения задач логистики. Дискретная природа организационно-экономических задач.

Методология моделирования систем логистики. Математическое моделирование: методы и аппарат теории случайных процессов, математической теории надежности, методы стохастической оптимизации, теории массового обслуживания и управления запасами, методы сетевого планирования и управления, теории графов, методы теории принятия экономических решений и др. Имитационное моделирование: особенности и возможности метода. Модели оценки эффективности логистических операций.

#### Основная литература

1. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Процедуры оптимизации. – М.: Академия, 2014. - 288 с (Раздел 1)

#### Дополнительная литература

1. Сергеев, В. И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах. М. ИНФРА-М, 2013. - 633 с.
2. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы в управлении: Учеб. пособие. – М.: Дело, 2000.
3. Справочник по математике для экономистов / Под ред. проф. В. И. Ермакова. – М.: Высшая школа, 1997.



## **РАЗДЕЛ 2. ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКИ В ЛОГИСТИКЕ**

### **Тема 2.1. Основы теории графов**

Основные понятия теории графов. Свойства и характеристики неориентированных графов. Свойства и характеристики ориентированных графов. Матричное представление графов. Понятия сетей и простых графов. Понятия сетей Петри. Графы как топологические модели различных видов потоков логистических систем.

Топологические модели (графы) материальных и энергетических потоков. Параметрические потоковые графы. Материальные потоковые графы. Тепловые потоковые графы. Циклические потоковые графы. Структурные графы. Производственно-экономические и транспортные сети. Топологические модели (графы) информационных потоков. Двудольные информационные графы. Информационные графы.

#### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Процедуры оптимизации. – М.: Академия, 2014. - 288 с (Раздел 2)

#### **Дополнительная литература**

1. Сергеев, В. И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах. М. ИНФРА-М, 2013. - 633 с.
2. Барбаумов, В. Е. Справочник по математике для экономистов. М. Высш. шк., 1997. - 383 с.
3. Емеличев, В. А. Лекции по теории графов. М. Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. - 383 с.
4. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981 Исследование операций в экономике / Под ред. проф. Н. Ш. Кремера. – М.: ЮНИТИ, 1997.
5. Ермольев Ю. Н. и др. Экстремальные задачи на графах. – М.: Наука, 1970

### **Тема 2.2. Применение оптимизационных методов теории графов для решения задач логистики**

Методы и алгоритмы поиска кратчайших основных деревьев в графах. Методы и алгоритмы поиска эйлеровых путей и контуров (организация движения транспорта) в графе. Методы и алгоритмы поиска гамильтоновых контуров и циклов (задача о коммивояжере). Методы и алгоритмы поиска максимального паросочетания в простом графе (задача о назначении). Методы и алгоритмы поиска минимальной опоры в простом графе.

#### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Процедуры оптимизации. – М.: Академия, 2014. - 288 с (раздел 2)

#### **Дополнительная литература**

1. Сергеев, В. И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах. М. ИНФРА-М, 2013. - 633 с.
2. Справочник по математике для экономистов / Под ред. проф. В. И. Ермакова. – М.: Высшая школа, 1997
3. Емеличев В. А. и др. Лекции по теории графов. – М.: Наука, 1990.
4. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981.
5. Филлипс Д., Гарсия-Диас А. Методы анализа сетей. – М.: Мир, 1984, - 496 с.
6. Исследование операций в экономике / Под ред. проф. Н. Ш. Кремера. – М.: ЮНИТИ, 1997.
7. Ермольев Ю. Н. и др. Экстремальные задачи на графах. – М.: Наука, 1970

### **РАЗДЕЛ 3. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПОТОКОВ В СЕТЯХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛОГИСТИКИ**

#### **Тема 3.1. Экстремальные задачи для сетевых моделей**

Задача о максимальном потоке. Алгоритм поиска увеличивающей поток цепи. Алгоритм поиска максимального потока в сети. Теорема о максимальном потоке и минимальном разрезе. Динамические потоковые модели. Метод развертки графа во времени.

#### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Процедуры оптимизации. – М.: Академия, 2014. - 288 с (Раздел 2)

#### **Дополнительная литература**

1. Сергеев, В. И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах. М. ИНФРА-М, 2013. - 633 с.
2. Справочник по математике для экономистов / Под ред. проф. В. И. Ермакова. – М.: Высшая школа, 1997
3. Емеличев В. А. и др. Лекции по теории графов. – М.: Наука, 1990.
2. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981.
3. Филлипс Д., Гарсия-Диас А. Методы анализа сетей. – М.: Мир, 1984, - 496 с.
4. Исследование операций в экономике / Под ред. проф. Н. Ш. Кремера. – М.: ЮНИТИ, 1997.

5. Ермольев Ю. Н. и др. Экстремальные задачи на графах. – М.: Наука, 1970

### **Тема 3.2. Модели транспортных задач как задач линейного программирования**

Постановка транспортной задачи или задачи прикрепления поставщиков к потребителям. Ее приложения к исследованиям логистики. Стандартная (открытая) транспортная модель. Сбалансированная (закрытая) транспортная модель. Многопродуктовая транспортная модель. Методы нахождения начального опорного решения: метод северо-западного угла; метод минимального элемента; метод Фогеля. Оптимальные планы для транспортной задачи: двойственная задача. Методы перехода к лучшему опорному плану: метод потенциалов, венгерский метод. Задача максимизации прибыли за счет распределения перевозок: модификация преобразованием в задачу минимизации «затрат».

#### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Процедуры оптимизации. – М.: Академия, 2014. - 288 с (Раздел 3)

#### **Дополнительная литература**

1. Сергеев, В. И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах. М. ИНФРА-М, 2013. - 633 с.
2. Кремер, Н. Ш. Исследование операций в экономике. ЮНИТИ, 2006. - 407 с.
3. Таха, Х. А. Введение в исследование операций. Вильямс, 2005. - 901 с.
4. Кузнецов Ю. Н. и др. Математическое программирование. – М.: Высшая школа, 1976
5. Карманов, В. Г. Математическое программирование. Физматлит, 2001. - 263 с.
2. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы в управлении: Учеб. пособие. – М.: Дело, 2000.
3. Справочник по математике для экономистов / Под ред. проф. В. И. Ермакова. – М.: Высшая школа, 1997.

### **Тема 3.3. Задача о назначениях**

Постановка задачи о назначениях. Математическая модель задачи как задача линейного программирования с булевыми переменными. Связь с транспортной задачей линейного программирования. Структура оптимального плана задачи. Методы решения задачи о назначениях. оптимизация на основе опорного плана из нулевых элементов модифицированной матрицы стоимостей. Методы модификации при отсутствии опорного плана из нулевых элементов. Основные этапы и интерпретации процесса нахождения оптимального варианта назначений, максимизирующего суммарную производительность процесса выполнения заданного множества работ. Приложения к моделированию систем логистики.

#### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Процедуры оптимизации. – М.: Академия, 2014. - 288 с (Раздел 3)

#### **Дополнительная литература**

1. Сергеев, В. И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах. М. ИНФРА-М, 2013. - 633 с.
2. Кремер, Н. Ш. Исследование операций в экономике. ЮНИТИ, 2006. - 407 с.
3. Таха, Х. А. Введение в исследование операций. Вильямс, 2005. - 901 с.
4. Кузнецов Ю. Н. и др. Математическое программирование. – М.: Высшая школа, 1976
5. Карманов, В. Г. Математическое программирование. Физматлит, 2001. - 263 с.
6. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы в управлении: Учеб. пособие. – М.: Дело, 2000.
7. Справочник по математике для экономистов / Под ред. проф. В. И. Ермакова. – М.: Высшая школа, 1997.

## **РАЗДЕЛ 4. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ**

### **Тема 4.1. Сетевые графики проектов: анализ методом критического пути**

Задачи проектирования логистических систем на микро- и макроуровнях, использующие сетевые графики. Процедуры построения сетевых графиков и их особенности. Основные соответствия, используемые для представления работ, связей между работами, а также событиями, обуславливаемыми возможностью начала и окончания выполнения работы. Процедуры упрощения сети. Процедуры правильной нумерации вершин сетевого графика. Временные параметры сетевого графика: ранние сроки выполнения работ, ранние сроки наступления событий. Алгоритм Форда для нахождения раннего срока наступления события. Критическое время и критический путь. Алгоритм построения критического пути. Свойства критического пути.

#### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Процедуры оптимизации. – М.: Академия, 2014. - 288 с (Раздел 4)

#### **Дополнительная литература**

1. Сергеев, В. И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах. М. ИНФРА-М, 2013. - 633 с.
2. Томас, Р. Количественные методы анализа хозяйственной деятельности. М. Дело и Сервис, 1999. - 432 с.
3. Уолрэнд Дж. Введение в теорию сетей обслуживания. – М.: Мир, 1993.
4. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы в управлении: Учеб. пособие. – М.: Дело, 2000.

### **Тема 4.2. Методы планирования временных и ресурсных показателей**

Понятие позднего срока выполнения работы, позднего срока наступления события. Алгоритм нахождения поздних сроков наступлений событий. Резервы времени и их формальное представление: а) суммарный полный резерв времени выполнения работы; б)

свободный резерв времени выполнения работы; в) независимый резерв времени. Нахождение резервов времени на основе поздних и ранних сроков наступления событий, представленных вершинами сетевого графика. Решения по использованию имеющегося резерва времени. График Ганта: планирование ресурсов. Метод оценки и пересмотра планов (ПЕРТ). Альтернативный метод для сетевых графиков: «действие – в узле».

### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Процедуры оптимизации. – М.: Академия, 2014. - 288 с (Раздел 4)

### **Дополнительная литература**

1. Сергеев, В. И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах. М. ИНФРА-М, 2013. - 633 с.
2. Томас, Р. Количественные методы анализа хозяйственной деятельности. М. Дело и Сервис, 1999. - 432 с.
3. Уолрэнд Дж. Введение в теорию сетей обслуживания. – М.: Мир, 1993.
4. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы в управлении: Учеб. пособие. – М.: Дело, 2000.

## **РАЗДЕЛ 5. МЕТОД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

### **Тема 5.1. Общая схема метода**

Задачи, решаемые методом имитационного моделирования. Особенности и возможности метода. Особенности приложений к моделированию систем логистики. Общая схема метода Монте-Карло. Процедуры конструирования требуемой случайной величины и верхней оценки для ее дисперсии. Оценка точности получаемых результатов в рамках имитационной модели. Необходимый математический аппарат для конструирования имитационной модели и ее реализации. Случайные и псевдослучайные числа. Моделирование базовой случайной величины, равномерно распределенной на  $(0;1)$ . Моделирование полной группы случайных событий.

### **Тема 5.2. Основные процедуры метода**

Моделирование дискретных распределений вероятности. Основная модель моделирования непрерывных случайных величин и соответствующие моделирующие формулы. Специальные моделирующие формулы. Метод Неймана для разыгрывания непрерывных случайных величин. Процедуры построения имитационных моделей для основных подсистем логистики. Процедуры оценки параметров эффективности их работы на основе имитационной модели. Приложения к анализу систем обслуживания, систем управления запасами и других подсистем логистики.

### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Процедуры оптимизации. – М.: Академия, 2014. - 288 с (Раздел 5)

#### **Дополнительная литература**

1. Сергеев, В. И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах. М. ИНФРА-М, 2013. - 633 с.
2. Лоу, А. М. Имитационное моделирование. СПб. Питер, 2004. - 846 с.
3. Лычкина, Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов. М. ИНФРА-М, 2012. - 253 с.
4. Соболев И.М. Метод монте-Карло. – М.: Наука, 1980.
5. Исследование операций в экономике / Под ред. проф. Н. Ш. Кремера. – М.: ЮНИТИ, 1997.
6. Справочник по математике для экономистов / Под ред. проф. В. И. Ермакова. – М.: Высшая школа, 1997
3. Томас Р. Количественные методы анализа хозяйственной деятельности. – М.: Дело и Сервис, 1999.
4. Гмурман, В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. М. Высш. шк., 1999. - 400 с.

### **РАЗДЕЛ 6. МЕТОД ПЕРЕСТАНОВКИ АРГУМЕНТОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ИЗДЕРЖЕК В ЛОГИСТИКЕ**

#### **Тема 6.1. Минимизация ожидаемых издержек выполнения портфеля заказов: учет штрафных функций**

Задачи логистики, связанные с оптимальным выбором моментов действий при анализе логистических процессов. Метод перестановки аргументов для минимизации суммарных ожидаемых издержек в задачах оптимального выбора порядка выполнения работ портфеля заказов при случайной длительности их выполнения. Экономические интерпретации и логистические приложения для оптимизационных моделей на основе представления издержек штрафными функциями. Оптимальные  $s_{\mu}$  - правила для моделей без прерывания и для моделей с прерыванием процедур выполнения работ сформированного пакета заданий.

#### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Учебно-методические материалы. 2016. - 160 с.

#### **Дополнительная литература**

1. Томас Р. Количественные методы анализа хозяйственной деятельности. – М.: Дело и Сервис, 1999.
2. Уоллрэнд Дж. Введение в теорию сетей обслуживания. – М.: Мир, 1993.

3. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшая школа, 1997.

### **Тема 6.2. Минимизация ожидаемых издержек выполнения портфеля заказов: учет контрактных цен и инфляции**

Метод перестановки аргументов для минимизации суммарных ожидаемых издержек в задачах оптимального выбора порядка выполнения работ портфеля заказов для оптимизационных моделей на основе представления издержек в виде упущенной выгоды при заданных контрактных ценах и временной структуре процентных ставок. Оптимальные Pm - правила для моделей без прерывания и для моделей с прерыванием процедур выполнения работ сформированного пакета заданий.

Обобщения и модификации моделей с учетом инфляции, процедур приведения стоимости потоков платежей, требуемой срочности выполнения заказов.

#### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Учебно-методические материалы, 2016. - 160 с.

#### **Дополнительная литература**

1. Томас Р. Количественные методы анализа хозяйственной деятельности. – М.: Дело и Сервис, 1999.
2. Уолрэнд Дж. Введение в теорию сетей обслуживания. – М.: Мир, 1993
3. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшая школа, 1997.

## **РАЗДЕЛ 7. ИНДЕКСНЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ**

### **Тема 7.1. Аппарат индексов Гиттинса: максимизация показателей эффективности**

Аппарат индексов Гиттинса для детерминированных моделей. Свойства индексов и их экономическая интерпретация. Индексы Гиттинса как показатели интенсивности доходов при анализе денежных потоков, описывающих работу систем логистики. Особенности выбора оптимальных стратегий, обуславливаемые операциями над последовательностями доходов: перенос части дохода на другой срок; паузы в инвестициях. Оптимальное индексное правило и соответствующие процедуры нахождения оптимальных стратегий реализации проектов с детерминированными последовательностями доходов.

#### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Учебно-методические материалы. 2016- 160 с.



### **Дополнительная литература**

1. Томас Р. Количественные методы анализа хозяйственной деятельности. – М.: Дело и Сервис, 1999.
2. Уолрэнд Дж. Введение в теорию сетей обслуживания. – М.: Мир, 1993.
3. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшая школа, 1997.

### **Тема 7.2. Приложения индексных методов в реструктуризации издержек в системах логистики**

Аппарат индексного метода (аппарат индексов Гиттинса) для моделей со случайными доходами и случайными издержками по этапам проектов. Интенсивности средних ожидаемых доходов и интенсивности средних ожидаемых издержек по проекту и его фрагментам. Интенсивность потока доходов. Задача максимизации интенсивности потока доходов. Алгоритм определения минимально возможной интенсивности издержек в рамках проекта. Оптимальное реконструирование порядка реализации этапов анализируемых проектов с целью минимизации суммарных ожидаемых издержек.

### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Учебно-методические материалы. 2016- 160 с.

### **Дополнительная литература**

1. Томас Р. Количественные методы анализа хозяйственной деятельности. – М.: Дело и Сервис, 1999.
2. Уолрэнд Дж. Введение в теорию сетей обслуживания. – М.: Мир, 1993
3. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшая школа, 1997.

## **РАЗДЕЛ 8. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ**

### **Тема 8.1. Базовые модели управления запасами и их модификации**

Задачи логистики, связанные с процессами управления запасами. Классификация моделей управления запасами. Модели издержек в рамках задач управления запасами. Статические модели управления запасами (модели одноразовой закупки). Динамические модели управления запасами. Формула наиболее экономичного размера запаса (Уилсона).

Модификации базовых моделей управления запасами в логистических приложениях:  
 1) с учетом предлагаемых скидок; 2) с учетом ограничений на размер капитала, аккумулируемого в запасах и их хранении; 3) с учетом критерия оптимизации, предполагающего максимизацию показателя рентабельности работы системы.

### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л. Управление запасами. Учебник. –М.: Эксмо, 2008. (Раздел 1-3)



### **Дополнительная литература**

1. Лукинский, В. С. Модели и методы теории логистики. СПб. Питер, 2008. - 447 с.
2. Томас Р. Количественные методы анализа хозяйственной деятельности. – М.: Дело и Сервис, 1999.
3. Замков, О. О. Математические методы в экономике. М. Дело и Сервис, 1999. - 368 с
4. Прабху Н. Стохастические процессы управлений запасами. М.: Мир, 1985

### **Тема 8.2. Многопродуктовые стратегии управления запасами**

Многопродуктовые или многономенклатурные модели управления запасами. Оптимальные стратегии для модели с общими поставками групп товаров. Модели планирования дефицита: 1) с «покрытием» дефицита по каждому товару в момент поставки; 2) без «покрытия» соответствующего дефицита. Определение максимального уровня дефицита и оптимального «баланса» между промежутками планируемого дефицита и его отсутствия. Модели периодических поставок при случайном спросе. Одноуровневые стратегии. Стратегии двух уровней. Определение политики управления запасами.

### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л. Управление запасами. Учебник. –М.: Эксмо, 2008. (Раздел 1-3)

### **Дополнительная литература**

1. Лукинский, В. С. Модели и методы теории логистики. СПб. Питер, 2008. - 447 с.
- Томас Р. Количественные методы анализа хозяйственной деятельности. – М.: Дело и Сервис, 1999.
2. Замков О. О. и др. Математические методы в экономике: Учебник. – М.: МГУ-ДИС, 1997.
3. Прабху Н. Стохастические процессы управлений запасами. М.: Мир, 1985

### **Тема 8.3. Эффект временной стоимости денег при оптимизации моделей управления запасами**

Подход к оптимизации систем управления запасами на основе учета временной структуры процентных ставок: использование требований, принципов и правил финансового анализа и финансового менеджмента при моделировании финансовых потоков в системах управления запасами. Модели уходящих и приходящих денежных потоков в таких системах на периоде повторного заказа. Учет процентных ставок на основе процедур наращивания и дисконтирования. Критерий максимизации интенсивности потока доходов. Оптимальные стратегии управления запасами при использовании заемных средств.

### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л. Управление запасами: Учебник. –М.: Эксмо, 2008. (Раздел 1-3)
- 2.

### **Дополнительная литература**

1. Бродецкий Г.Л. Управление запасами. Эффект временной стоимости денег. –М.: Эксмо, 2008.
2. Томас Р. Количественные методы анализа хозяйственной деятельности. – М.: Дело и Сервис, 1999.
3. Замков О. О. и др. Математические методы в экономике: Учебник. – М.: МГУ-ДИС, 1997.

4. Пرابху Н. Стохастические процессы управления запасами. М.: Мир, 1985

## **РАЗДЕЛ 9. МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЛОГИСТИКИ**

### **Тема 9.1. Прогнозирование логистических издержек методами теории случайных потоков событий**

Задачи логистики, обуславливаемые необходимостью прогнозирования случайных издержек из-за вмешательства случая. Понятие потока случайных событий. Классификация случайных потоков событий в рамках логистических систем: дискретное и непрерывное время. Стационарный геометрический поток событий. Простейший (пуассоновский) поток случайных событий. Основные свойства потоков. Ординарные и неординарные потоки случайных событий. Стационарные потоки. Свойство отсутствия последствия. Операции над потоками случайных событий: суммирование потоков; просеивание потоков. Приложения к прогнозированию ожидаемых издержек в подсистемах логистики. Аппарат производящих функций. Основные свойства производящих функций. Возможности прогнозирования ущерба, обуславливаемого вмешательством случая, и нахождения числовых характеристик ущерба.

#### **Основная литература**

1. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Потоки событий и системы обслуживания. – М.: Академия, 2011. (Раздел - 1)

#### **Дополнительная литература**

1. Сергеев, В. И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах. М. ИНФРА-М, 2013. - 633 с.
2. Справочник по математике для экономистов / Под ред. проф. В. И. Ермакова. – М.: Высшая школа, 1997.
3. Исследование операций в экономике / Под ред. проф. Н. Ш. Кремера. – М.: ЮНИТИ, 1997.
4. Вентцель, Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М. Высш. шк., 2000. - 383 с.

### **Тема 9.2. Прогнозирование структуры временных потерь при дискретном вмешательстве случая**

Задачи моделирования и прогнозирования структуры временных потерь и соответствующих им экономических издержек в логистических исследованиях с учетом случайных прерываний и случайных блокировок реализуемых операций. Классификация моделей учета издержек при дискретном вмешательстве случая. Аппарат преобразований Лапласа (Лапласа-Стилтьеса). Метод введения дополнительного события. Основные свойства преобразований Лапласа: учет линейных операций над величинами издержек; учет и прогнозирование суммарных издержек, обуславливаемых различными типами

прерываний. Методика определения основных параметров, характеризующих издержки. Приложения к моделированию различных подсистем логистики.

### Основная литература

1. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Потоки событий и системы обслуживания . – М.: Академия, 2011. (Раздел 1)

### Дополнительная литература

1. Сергеев, В. И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах. М. ИНФРА-М, 2013. - 633 с.
2. Справочник по математике для экономистов / Под ред. проф. В. И. Ермакова. – М.: Высшая школа, 1997.
3. Исследование операций в экономике / Под ред. проф. Н. Ш. Кремера. – М.: ЮНИТИ, 1997.
4. Вентцель, Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М. Высш. шк., 2000. - 383 с.

## РАЗДЕЛ 10. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

### Тема 10.1. Моделирование марковских систем массового обслуживания

Понятие системы массового обслуживания (СМО). Классификация СМО. Методы анализа СМО, использующие теорию случайных процессов. Классификация случайных процессов применительно к моделям, используемым в исследованиях логистики. Марковское свойство. Марковские модели СМО. Метод размеченного графа состояний системы. Процессы гибели и размножения: дифференциальные уравнения процесса. Анализ модели обслуживания М/М/Н с потерей заявок: формулы Эрланга-Севастьянова. Анализ модели обслуживания М/М/Н с ожиданием. Нахождение основных показателей эффективности работы систем массового обслуживания. Приложения к нахождению показателей эффективности различных подсистем логистики.

### Основная литература

1. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Потоки событий и системы обслуживания. – М.: Академия, 2011. (Раздел 2)

### Дополнительная литература

1. Ивченко, Г. И. Теория массового обслуживания. УРСС, 2012. - 296 с.
2. Чернов В. П., Ивановский В. Б. Теория массового обслуживания. – М.: Инфра-М, 2000.
3. Исследование операций в экономике / Под ред. проф. Н. Ш. Кремера. – М.: ЮНИТИ, 1997.
4. Уолрэнд Дж. Введение в теорию сетей обслуживания. – М.: Мир, 1993.
5. Ивченко Г. И. и др. Теория массового обслуживания. – М.: Высшая школа, 1982.
6. Вентцель, Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М. Высш. шк., 2000. - 383 с.

## 9. Образовательные технологии

В рамках данного курса студенты активно участвуют в процессе обучения, разбирая на занятиях практические задачи и кейсы.

## 10. Оценочные средства для текущего контроля и аттестации студента

### Перечень примерных вопросов и заданий для самостоятельной работы

#### Тема 1.1:

- классификация математических методов моделирования систем логистики;
- задачи принятия экономических решений в исследованиях логистики.
- модели оптимизационных задач в логистике

#### Тема 2.1:

- основные определения и понятия теории графов;
- свойства и характеристики неориентированных графов;
- свойства и характеристики ориентированных графов;
- матричное представление графов;
- понятия сетей;
- потоковые графы (параметрические, материальные, тепловые, циклические, информационные).

#### Тема 2.2:

- эйлеровы графы: теорема Эйлера;
- алгоритм поиска эйлеровых путей и контуров в графе;
- гамильтоновы графы: достаточные условия существования;
- алгоритм поиска гамильтоновых контуров и циклов;
- ориентированные графы;
- задача о минимальном остове;
  - задача о кратчайшем пути;
- задача построения наибольших паросочетаний;
- приложения к задаче о назначениях.

#### Тема 3.1:

- однородные потоки в сетях: основные понятия;

- необходимые и достаточные условия для существования потока в сети;
- максимальный поток в сети;
- алгоритм поиска увеличивающей поток цепи;
- теорема о максимальном потоке и минимальном разрезе;
- динамические потоки: метод развертки графа во времени;
- поток минимальной стоимости
- нахождение потока минимальной стоимости в сети: метод расстановки пометок;
- потоки с ограничениями на функции пропускных способностей.

### **Тема 3.2:**

- открытая транспортная модель;
- закрытая транспортная модель;
- многопродуктовая транспортная модель;
- методы нахождения начального опорного плана;
- метод потенциалов;
- венгерский метод;
- задача максимизации прибыли за счет распределения перевозок.

### **Тема 3.3:**

- задачи о назначениях и их роль в логистических исследованиях;
- математическая модель задачи о назначениях;
- структура оптимального плана задачи о назначениях;
- алгоритм венгерского метода для решения задачи о назначениях;
- постановка задачи о коммивояжере и ее роль в исследованиях логистики;
- математическая модель задачи о коммивояжере как задачи дискретного программирования;
- метод ветвей и границ;
- основные процедуры метода применительно к решению задачи о коммивояжере;
- алгоритм метода, приложения к задачам транспортной логистики.

### **Тема 4.1:**

- процедуры построения сетевых графиков;
- процедуры правильной нумерации вершин сети;
- процедуры упрощения сети;
- ранние сроки наступления событий;
- алгоритм Форда для нахождения ранних сроков событий (на сетевом графике);
- алгоритм построения критического пути;
- свойства критического пути.

### **Тема 4.2:**

- поздние сроки выполнения работ и поздние сроки наступления событий;
- полный или суммарный резерв времени выполнения работы;
- свободный резерв времени;
- независимый резерв времени;
- алгоритм нахождения поздних сроков наступления событий;
- алгоритм определения резервов времени на сетевом графике;
- график Ганта: планирование ресурсов;

- метод оценки и пересмотра планов (ПЕРТ);
- сетевые графики на основе метода «действие – в узле».

#### **Тема 5.1:**

- общая схема метода имитационного моделирования;
- оценка точности результатов моделирования;
- случайные и псевдослучайные числа: способы их получения;
- разыгрывание равномерно распределенной случайной величины на интервале (0;1);
- разыгрывание полной группы случайных событий.

#### **Тема 5.2:**

- моделирование дискретных случайных величин;
- основной метод для моделирования непрерывных случайных величин;
- моделирующие формулы для основных законов распределения вероятностей;
- метод Неймана;
- специальные моделирующие формулы;
- процедуры построения имитационной модели;
- имитационное моделирование подсистем логистики.

#### **Тема 6.1:**

- задачи выбора оптимального порядка действий в логистических исследованиях;
- метод перестановки аргументов; особенности процедур метода;
- оптимальное  $cm$  - правило: базовая модель минимизации издержек, основанная на штрафных функциях;
- модификации  $cm$  - правила для моделей, учитывающих ограничения на функции штрафов.

#### **Тема 6.2:**

- минимизация издержек обслуживания портфеля заказов: оптимальное  $Pm$  - правило для модифицированной модели, основанной на учете контрактных цен;
- модификация  $Pm$ , - правила с учетом инфляции;
- модификация  $Pm$  - правила с учетом требований срочности выполнения заказов;
- модификация  $Pm$ , - правила с учетом специфики выплат контрактных сумм.

#### **Тема 7.1:**

- задача оптимального реконструирования потоков доходов для заданной системы мероприятий;
- задача выбора оптимального момента останова;
- индексы Гиттинса и их экономическая интерпретация (детерминированные последовательности доходов по этапам проектов);
- индексы Гиттинса для стохастических моделей;
- свойства индексов Гиттинса;
- оптимальное индексное правило;
- процедуры нахождения оптимальных решений, максимизирующих эффективность.

#### **Тема 7.2:**

- аппарат индексного метода для моделей со случайными доходами по этапам проектов;
- интенсивности ожидаемых доходов по проекту и его фрагментам;
- максимально возможная интенсивность потока ожидаемых доходов в рамках проекта;
- эталонное представление доходов проекта по его фрагментам;
- оптимальное реконструирование потоков случайных доходов для заданного множества проектов.

### **Тема 8.1:**

- классификация моделей управления запасами;
- статические модели управления запасами: модели одноразовой закупки;
- динамические модели управления запасами: различные стратегии управления;
- формула Уилсона для экономичного размера запаса;
- расчет параметров системы управления запасами при фиксированном размере заказа;
- расчет параметров системы управления запасами при фиксированном интервале времени между заказами;
- расчет параметров системы управления запасами с установленной периодичностью пополнения запасов до постоянного уровня;
- методы учета сбоев в поставках и потреблении;

### **Тема 8.2:**

- многономенклатурные модели управления запасами с общими поставками;
  - многономенклатурное планирование дефицита: покрытие дефицита при поставках;
- планирование дефицита для моделей, не предусматривающих его покрытие при поставках;
- оптимальный баланс промежутков наличия дефицита и его отсутствия для стратегий планирования дефицита;
- модели периодических поставок при случайном спросе;
- определение политики управления запасами.

### **Тема 8.3:**

- требования учета временной структуры процентных ставок при управлении запасами;
- модели уходящих денежных потоков на периоде повторного заказа для систем управления запасами;
- модели приходящих денежных потоков на периоде повторного заказа для систем управления запасами;
- формальное представление критериальной функции: максимизация интенсивности потока доходов;
- специфика оптимальной стратегии управления запасами при использовании заемных средств

### **Тема 9.1:**

- потоки случайных событий, их классификация, основные характеристики;



- стационарный геометрический поток;
- простейший (пуассоновский) поток событий;
- свойство отсутствия последствия;
- учет неординарности потока событий при прогнозировании;
- операция сложения потоков случайных событий;
- операция просеивания потока случайных событий;
- прогнозирование ущерба или потерь на основе потоков случайных событий;
- производящие функции и их свойства;
- производящие функции числа поставок товара, ущерба при поставках.

#### **Тема 9.2:**

- классификация издержек при дискретном вмешательстве случая;
- понятие преобразования Лапласа; его свойства;
- модель учета и прогнозирования издержек при дообслуживании;
- модель учета и прогнозирования издержек при обслуживании прерванной операции заново;
- модель учета и прогнозирования издержек при потере обслуживаемого заказа из-за прерывания;
- метод введения дополнительного события при анализе издержек, обуславливаемых случайными прерываниями операций.

#### **Тема 10.1:**

- понятие системы массового обслуживания (СМО);
- классификация СМО;
- показатели эффективности работы СМО.
- марковские модели СМО, марковское свойство;
- процессы гибели и размножения: дифференциальные уравнения;
- стационарное решение для процессов гибели и размножения;
- условия существования стационарного решения;
- анализ марковской модели обслуживания смешанного типа;
- анализ марковской модели с ожиданием;
- метод размеченного графа состояний СМО;
- формулы Эрланга-Севастьянова;
- моделирование систем обслуживания с отказами прибора;
- специфика соответствующих приложений логистики: схема с дообслуживанием прерванной заявки;
- специфика соответствующих приложений логистики: схема обслуживания прерванного заказа заново;
- модели с потерей прерванного заказа.

### **Вопросы для оценки качества освоения дисциплины**

### **Примерный перечень вопросов к экзамену по всему курсу**



1. Основные понятия теории графов. Способы задания графов. Возможности и особенности соответствующего моделирования систем логистики.
2. Операции над графами. Приложения к исследованиям систем логистики.
3. Изоморфизм графов. Приложения к исследованиям систем логистики.
4. Эйлеровы графы и эйлеровы обходы. Теорема Эйлера. Интерпретации и приложения к решению оптимизационных задач в логистике.
5. Гамильтоновы графы и гамильтоновы обходы. Достаточные условия существования. Интерпретации и приложения к моделированию систем логистики.
6. Деревья. Соотношения между числом вершин и числом ребер в деревьях.
7. Алгоритм поиска минимального покрывающего дерева. Приложения к решению оптимизационных задач логистики.
8. Алгоритм поиска максимального покрывающего дерева. Приложения к решению оптимизационных задач логистики.
9. Алгоритм Дейкстры для определения кратчайшего пути в графе. Возможности и особенности его использования в приложениях логистики.
10. Модификация Форда для алгоритма Дейкстры при поиске кратчайшего пути в графе. Особенности приложений для моделирования систем логистики.
11. Модификация алгоритма Дейкстры для поиска наилучшего пути в задаче с ограничениями на пропускные способности
12. Модификация алгоритма Дейкстры для поиска наилучшего пути в задаче с потерями груза
13. Процедуры построения сетевых графиков.
14. Алгоритм Форда для нахождения ранних сроков событий (на сетевом графике),
15. Алгоритм построения критического пути.
16. Алгоритм нахождения поздних сроков наступления событий (на сетевом графике).
17. Алгоритм определения резервов времени (полный, свободный) на сетевом графике.
18. Поточковые алгоритмы. Алгоритм поиска увеличивающей поток цепи.
19. Теорема о максимальном потоке и минимальном разрезе в сети.
20. Анализ динамических потоков: процедуры развертки графа во времени.
21. Модификация процедуры развертки графа во времени: учет возможности хранения груза в промежуточных пунктах.
22. Транспортная задача: открытая транспортная модель.
23. Транспортная задача: закрытая транспортная модель.
24. Особенности формализации транспортной задачи: ограничение на пропускную способность.
25. Особенности формализации транспортной задачи: наличие обязательной поставки.
26. Понятие опорного плана транспортной задачи, его атрибуты и свойства.
27. Методы нахождения начального опорного плана: метод северо-западного угла.
28. Методы нахождения начального опорного плана: метод минимального элемента.
29. Методы нахождения начального опорного плана: метод Фогеля.
30. Понятие оптимального плана, его атрибуты и свойства.
31. Метод потенциалов для нахождения оптимального плана транспортной задачи.
32. Задача о назначениях. Приложения к анализу логистических моделей.
33. Венгерский метод решения задачи о назначениях
  
34. Метод Монте – Карло. Общая схема метода. Оценка точности.
35. Метод Монте – Карло. Общая схема метода. Необходимый объем выборки для заданной точности.
36. Моделирование дискретных случайных величин в рамках метода Монте – Карло. Приложения к моделированию систем логистики.

37. Моделирование непрерывных случайных величин в имитационных моделях систем логистики. Моделирующая формула для случайной величины  $\in R(a;b)$
38. Моделирование непрерывных случайных величин в имитационных моделях систем логистики. Моделирующая формула для случайной величины  $\in \exp\{\lambda\}$
39. Моделирование непрерывных случайных величин в имитационных моделях систем логистики. Моделирующая формула для случайной величины  $\in N(a; \sigma)$
40. Специальные моделирующие формулы для разыгрывания непрерывных случайных величин при имитационном моделировании систем логистики.
41. Методы нахождения неизвестных параметров моделей в рамках метода Монте – Карло: задача определения площади.
42. Алгоритмы нахождения неизвестных параметров моделей в рамках метода Монте – Карло: задача нахождения значения определенного интеграла.
43. Оптимальные параметры при моделировании систем логистики методом Монте – Карло. Нахождение точки экстремума (точки максимума).
44. Оптимальные параметры при моделировании систем логистики методом Монте – Карло. Нахождение точки экстремума (точки минимума).
45. Метод имитационного моделирования. Возможности и особенности его использования для моделирования систем логистики. Иллюстрация и примеры.
46. Метод перестановки аргументов в задачах логистики. Суть метода. Возможности оптимизации.
47. Оптимальное  $c\mu$ - правило в моделях обслуживания портфеля заказов: минимизация издержек, представленных штрафными функциями.
48. Оптимальное  $R\mu$ - правило в моделях обслуживания портфеля заказов (представленных контрактными суммами): минимизация упущенной выгоды,.
49. Учет инфляции в задачах минимизации издержек обслуживания портфеля заказов: модификация оптимального  $R\mu$ -правила.
50. Модели учета требований срочности (изменение порядка) в задачах минимизации издержек обслуживания портфеля заказов.
51. Аппарат индексного метода в задачах управления денежными потоками проектов. Требования к реализации метода. Экономические интерпретации.
52. Определение индекса Гиттинса и условных моментов «остановки» для числовых последовательностей доходов. Особенности вычисления. Экономические интерпретации.
53. Определение индекса Гиттинса для остатков числовых последовательностей доходов и условные моменты «остановки». Особенности вычисления. Экономические интерпретации.
54. Основные свойства индексов Гиттинса, связанные с особенностями последовательностей доходов в задачах управления денежными потоками проектов для максимизации чистого приведенного дохода.
55. Основные свойства индексов Гиттинса, связанные с преобразованиями денежных потоков в задачах управления денежными потоками проектов для максимизации чистого приведенного дохода.
56. Модели одноразовых поставок в задачах управления запасами: вероятностные подходы в задачах оптимального управления.
57. Классическая модель управления запасами без учета временной стоимости денег (ВЦД). Издержки хранения учитываются по *фактически* занимаемым позициям на складе. Оптимальный размер заказа.
58. Классическая модель управления запасами без учета временной стоимости денег (ВЦД). Издержки хранения учитываются по *фактически* занимаемым позициям на складе. Оптимальный интервал повторного заказа.

59. Классическая модель управления запасами без учета временной стоимости денег (ВЦД). Издержки хранения учитываются по *арендованным* позициям мест на складе. Оптимальный размер заказа.
60. Классическая модель управления запасами без учета временной стоимости денег (ВЦД). Издержки хранения учитываются по *арендованным* позициям мест на складе. Оптимальный интервал повторного заказа.
61. Методы и модели учета скидок в задачах управления запасами без учета ВЦД.
62. Минимизация издержек при управлении запасами для многономенклатурной классической модели без учета ВЦД. Издержки хранения учитываются по *фактически* занимаемым позициям на складе.
63. Минимизация издержек при управлении запасами для многономенклатурной классической модели без учета ВЦД. Издержки хранения учитываются по *арендованным* позициям мест на складе.
64. Стратегия планирования дефицита (покрываемого при очередной поставке) в моделях управления запасами. Основные понятия. Оптимальные параметры для стратегии без учета ВЦД.
65. Управления запасами с учетом ВЦД (максимизация интенсивности потока доходов). Издержки хранения учитываются по *фактически* занимаемым позициям на складе. Оптимальный размер заказа.
66. Управления запасами с учетом ВЦД (максимизация интенсивности потока доходов). Издержки хранения учитываются по *фактически* занимаемым позициям на складе. Оптимальный интервал повторного заказа.
67. Управления запасами с учетом ВЦД (максимизация интенсивности потока доходов). Издержки хранения учитываются по *арендованным* позициям мест на складе. Оптимальный размер заказа.
68. Управления запасами с учетом ВЦД (максимизация интенсивности потока доходов). Издержки хранения учитываются по *арендованным* позициям мест на складе. Оптимальный интервал повторного заказа.
69. Многономенклатурное управление запасами с учетом ВЦД (максимизация интенсивности потока доходов). Издержки хранения учитываются по *фактически* занимаемым позициям на складе.
70. Многономенклатурное управление запасами с учетом ВЦД (максимизация интенсивности потока доходов). Издержки хранения учитываются по *арендованным* позициям мест на складе.
71. Потоки случайных событий, их классификация, основные характеристики.
72. Свойство отсутствия последствия для случайных потоков событий. Иллюстрации и приложения к системам логистики
73. Простейший поток событий. Его вероятностные и числовые характеристики. Примеры из области логистики.
74. Стационарный, ординарный геометрический поток. Его вероятностные и числовые характеристики.
75. Операции над потоками случайных событий. Суммирование потоков.
76. Операции над потоками случайных событий. Просеивание потоков.
77. Аппарат производящих функций. Свойства производящих функций.
78. Специальные свойства производящих функций. Особенности использования аппарата производящих функций для модели биномиального закона распределения вероятностей.
79. Специальные свойства производящих функций. Особенности использования аппарата производящих функций для модели геометрического закона распределения вероятностей.

80. Специальные свойства производящих функций. Особенности использования аппарата производящих функций для модели закона распределения Пуассона.
81. Приложения производящих функций к исследованиям логистики: анализ производящих функций ущерба при поставках.
82. Модель учета и прогнозирования издержек при дообслуживании.
83. Модель учета и прогнозирования издержек при обслуживании прерванной операции заново.
84. Понятие преобразования Лапласа и его свойства.
85. Специальные свойства преобразований Лапласа. Особенности использования аппарата преобразований Лапласа для модели показательного закона распределения вероятностей.
86. Специальные свойства преобразований Лапласа. Особенности использования аппарата преобразований Лапласа для модели закона распределения Эрланга.
87. Специальные свойства преобразований Лапласа. Особенности использования аппарата преобразований Лапласа для модели равномерного закона распределения вероятностей.
88. Приложения преобразований Лапласа в логистике: анализ ущерба в моделях учета поставок товара.
89. Понятие систем массового обслуживания (СМО). Их классификация. Приложения к исследованиям логистики.
90. Метод размеченного графа состояний СМО: уравнения для стационарных вероятностей состояний
91. Формулы Эрланга-Севастьянова. Их приложения к исследованиям логистики.
92. Моделирование марковской СМО с потерями. Показатели и свойства.
93. Моделирование марковской СМО с ожиданием. Показатели и свойства.

## 10.2 Примеры заданий промежуточного /итогового контроля

1. Каждый час с технологической линии сходит готовое изделие, которое с вероятностью  $p_1=0,02$  может иметь дефект. Каждое изделие подвергается контролю (полный достоверный контроль), так, что все дефектные изделия обнаруживаются и отправляются на соответствующую доработку. Средний ущерб, связанный с такой доработкой (рабочее время, замена деталей или узлов, переналадка оборудования и т.п.) составляет для каждого дефектного изделия 1500р. Имеется предложение модифицировать технологический процесс, после чего вероятность появления брака уменьшится в пять раз, т.е. составит  $p_2=0,004$ . Управляющий заинтересован в такой модификации, но считает ее приемлемой, если годовой эффект экономии на издержках, связанных с бракованными изделиями, покрывает расходы на модификацию. Модификация технологической линии не потребует ее остановки или приостановки и обойдется в 140 тыс. р. *Требуется:*

подготовить обоснование, на основе соответствующих расчетов, принимая, что линия эксплуатируется 20 часов в день и 300 рабочих дней в году.

2. Фирма «Доставка» специализируется в области перевозки (по заказам) специального дорогостоящего оборудования. Опыт прошлых лет работы фирмы показал, что по случайным причинам (неисправность технических средств, болезни обслуживающего персонала и т.п.) возникали срывы сроков поставки по принятым заказам. Статистическое обследование

показало, что моменты срывов сроков поставки представляют собой простейший поток с параметром  $\lambda=0.1$  (*сутки<sup>-1</sup>*).

Финансовые издержки, обуславливаемые отдельным срывом срока поставки, являются случайной величиной, поскольку зависят как от условий контракта, так и от случайной длительности самого срока такого срыва. Статистика показала, что указанные финансовые издержки можно считать равномерно распределенными в промежутке от 3 до 8 тыс. руб. по каждому срыву срока поставки.

Рассматривается предложение о расширении парка технических средств и соответственно обслуживающего персонала. Предлагаемый проект требует вложений в объеме 200 тыс. руб. При этом принимается, что финансовыми издержками, обуславливаемыми срывом сроков поставок, после реализации проекта можно будет пренебречь. (Более строгая и формальная модель задачи принятия решений в ситуациях такого типа требует привлечения аппарата теории массового обслуживания, который будет представлен в следующих разделах курса). Руководство фирмы готово согласиться на реализацию проекта, если расходы на его реализацию покроются суммарной величиной годового эффекта экономии на издержках по срывам сроков поставок плюс его среднее квадратическое отклонение.

**ТРЕБУЕТСЯ:**

подготовить обоснование на основе прогнозируемой среднегодовой величины издержек и ее среднего квадратического отклонения, принимая, что фирма осуществляет поставки 360 дней в году.

3. У компании А&С, профилирующей в области комплектации и поставки дорогостоящего спецоборудования, имеется пакет из 10 заказов. По первым 3-м из них уже наступили сроки реализации, но компания еще не приступила к ним (из-за задержки в поставке комплектующих). Штрафные санкции по этим заказам составляют 1% каждый день от соответствующей контрактной цены заказа. Известны средние ожидаемые длительности  $MS_i$  промежутков времени выполнения заказов и контрактные цены  $P_i, i = (1, 2, \dots, 10)$ . Известно также, что совместное выполнение заказов невозможно без потери качества

Параметры заказов представлены ниже в таблице.

Заказ.№	$MS_i$ (сутки)	$P_i$ (тыс.у.е.)	Заказ.№	$MS_i$ (сутки)	$P_i$ (тыс.у.е.)
1	10	180	6	12	600
2	7.5	100	7	5	300
3	13	240	8	8	400
4	5	310	9	15	660
5	7	450	10	6	354

Учитывая все нарастающую конкуренцию в сфере деятельности этой компании, существенное влияние на успех проводимой политики оказывает престиж компании. Поэтому А&С решила выполнить сначала три «штрафных» заказа, а потом приступить к реализации



более выгодных «новых» семи заказов, зачисляя получаемые после их реализации суммы на депозитный счет, по которому годовая % ставка составляет 20%.

ТРЕБУЕТСЯ:

- 1) определить порядок выполнения «штрафных» заказов, обеспечивающий минимизацию суммарных штрафных санкций по ним;
- 2) определить очередность выполнения остальных 7-и заказов, максимизирующую денежную сумму на депозитном счете к моменту очередных выплат фирмы (через три месяца), принимая, что наращение сумм реализуется по схеме простых процентов.

4. Пусть принята программа реализации трех проектов: А, В и С, технологическую последовательность этапов которых нарушать нельзя (или невыгодно). Пусть в соответствии с особенностями и требованиями метода эти проекты уже представлены доходами по их этапам, причем приведены к инвестиционным и ресурсным возможностям инвестора. Длительности этапов составляют один квартал. При этом дисконтирующий множитель  $\beta$  на одном этапе с учетом поправки на риск и инфляцию составляет  $\beta = 0.85$ .

Проект \ Доход	Доходы по этапам (тыс. руб.)			
	I	II	III	IV
А	69368	61648	63498	65403
В	68928	41438	102618	
С	12251	12251	20028	

ТРЕБУЕТСЯ: определить оптимальный порядок реализации этапов этих проектов, при котором суммарный приведенный доход будет максимальным, если на каждом квартале можно реализовывать только один этап одного проекта.

5. Нефтеналивная станция нанимает бензовозы для доставки нефтепродуктов потребителям. На станции существует два терминала по погрузке машин. Каждый терминал одновременно обслуживает не более одной машины из соответствующего потока.

Прибывающие бензовозы образуют два независимых простейших потока с интенсивностями:

- для первого терминала  $\lambda = 2$  час ;
- для второго  $\lambda = 3$  час .

Время загрузки бензовоза - случайная величина с экспоненциальным законом распределения:

- для первого терминала  $\mu = 4$  ;
- для второго  $\mu = 6$ .

Также возможен вариант объединения потока машин в один с сохранением временных параметров погрузки для каждого терминала. Предполагается, что машина занимает первое освободившееся место.

Найти основные характеристики функционирования системы в обоих случаях.

Выбрать наиболее оптимальный вариант работы терминалов с учетом суммарных убытков станции, связанных с простоем машин в очереди. Оплата каждого водителя почасовая и составляет 100 руб. в час, а предприятие работает 10 часов в сутки.

6. Рассматривается модель одноразовой закупки с вероятностным ограничением на возможность возникновения дефицита запаса. При этом для планируемого временного периода известно, то допустимое предельное значение возникновения дефицита запаса составляет 0,2. Распределение спроса для данного временного периода является равномерным  $R(50,150)$ .

Требуется: определить оптимальный объем запаса, при котором вероятность дефицита не превысит заданного предельного значения.

7. Фирма занимается продажей досок. Номенклатура товаров фирмы состоит из двух типов досок. Необходимы данные приведены в табл. (общие поставки

Тип досок	Длины 3 метра	Длины 5 метров
Спрос	10000	8900
Издержки транспортировки	1000	1000
Издержки хранения	200	300

Требуется:

1. оптимальный период поставок (общий для обоих типов досок);
2. оптимальные объемы партий при поставке (для каждого типа досок);
3. издержки транспортировки за год;
4. суммарные издержки фирмы на транспортировку и хранение обоих типов досок за год
5. общую сумму, аккумулируемую в запасах, их хранении и поставках, в среднем, в течение года.

8. Рассматривается однономенклатурная модель стратегии управления запасами при постоянном спросе с учетом временной стоимости денег. Объем годового потребления 1600 ед. тов., накладные издержки на одну поставку 30 у.е., стоимость единицы товара 50 у.е., цена реализации товара 90 у.е., годовые издержки хранения единицы товара 20 у.е. Найти и сравнить основные параметры оптимальных стратегий управления запасами с учетом временной стоимости денег (за годовой период, годовая ставка 15%) и с без учета таковой. Оценить возможный эффект за счет учета временной стоимости денег при расчете оптимального размера заказа.

9. Необходимо построить систему нефтепроводов так, чтобы связать порт П (куда поступает нефть) с семью нефтеперерабатывающими заводами Н1, Н2, Н3, Н4, Н5, Н6 и Н7 с наименьшими затратами на строительство. При этом известно, что стоимость прокладки нефтепровода между любыми пунктами составляет 2000 \$ в расчете на 1 км плюс затраты в размере 8000 \$ на монтаж каждого участка нефтепровода длиной 1 км.

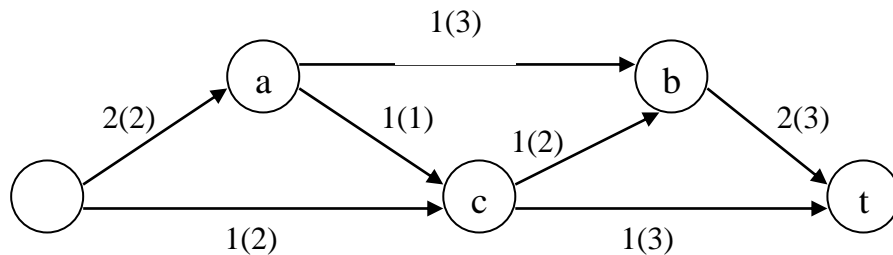
Расстояния между каждой парой пунктов приведены в таблице:

Пункты	П	Н1	Н2	Н3	Н4	Н5	Н6	Н7
П	0	10	12	16	4	12	18	20
Н1		0	8	20	10	16	12	20
Н2			0	22	16	8	18	20
Н3				0	20	6	12	14
Н4					0	4	10	18
Н5						0	20	10
Н6							0	16
Н7								0

Требуется:

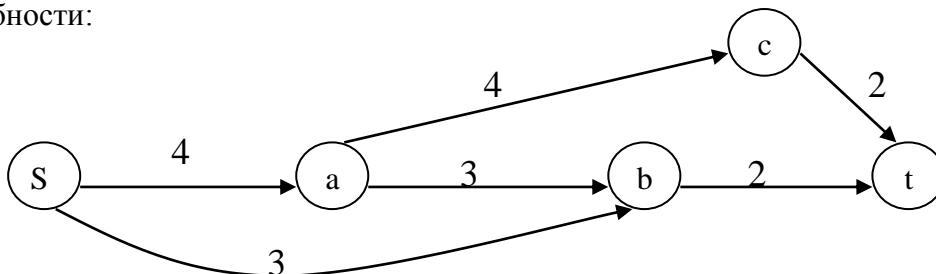
- построить граф, вершинам которого соответствуют заданные пункты, а ребрам – нефтепроводы, которые могут быть проложены; определить веса соответствующих ребер графа;
- определить требуемую систему нефтепроводов с наименьшими затратами на строительство, используя алгоритм построения минимального покрывающего дерева

10. Ниже указана сеть, причем рядом с дугами указаны текущие значения имеющегося потока из  $S$  в  $t$ , а в скобках – пропускные способности соответствующих дуг:



Требуется: найти какую-либо увеличивающую поток цепь (из  $S$  в  $t$ ).

11. Ниже представлена сеть, причем рядом с дугами указаны их пропускные способности:



Используя алгоритм поиска максимального потока, определите, какое максимальное количество единиц потока можно переслать в этой сети из  $S$  в  $t$ . Найдите соответствующий максимальный поток.



12 Запасы на 4-х складах равны 10, 20, 10, и 40 единиц продукции, потребности четырех магазинов равны 10, 20, 20 и 40 ед. продукции. Соответствующие тарифы транспортировки в у.е за единицу продукции представлены следующей матрицей. Учесть требования  $x_{24} \leq 10, x_{42} \geq 10$

1	5	3	1
2	4	2	3
3	10	15	9
5	6	11	7

Требуется: найти опорный план методом Фогеля, найти оптимальный план методом потенциалов.

13. Пусть время выполнения отдельного заказа в СМО с одним прибором является случайной величиной  $\xi$ , причем – независимой от длительностей выполнения других заказов и имеющей нормальный закон распределения вероятностей  $\xi \in N(1; 0,2)$  с параметрами  $M\xi=1$  (час) и  $\sigma = \sqrt{D\xi} = 0,2$  (час).

Таким образом, среднее время выполнения одного заказа составляет 1 час, а среднеквадратическое отклонение составляет 0,2 час. Известно, что в течение рабочего дня поступило 3 заказа, которые были приняты к выполнению (см., например, результаты моделирования для предыдущего примера).

*Требуется:*

разыграть три значения случайной величины  $\xi$ , представляющей длительности обслуживания соответствующих заказов.

14. Для определения оптимального срока замены транспортного средства было проведено статистическое обследование имеющегося парка машин. Пусть, после проверки соответствующей статистической гипотезы о затратах на ремонт автомобиля оказалось, что можно принять следующее. Годовой расход (в руб.) на ремонт (при равномерной по годам загрузке автомобиля работой) являются случайной величиной, зависящей от показателя суммарного пробега  $K$  (в км) и имеющей для данной марки автомобиля нормальный закон распределения вероятностей с математическим ожиданием, равным  $(2,2 \cdot 10^{-3} \cdot K)^{\frac{3}{2}}$  и среднеквадратическим отклонением, которое составляет  $2 \cdot 10^{-4} \cdot K$  (в % от величины соответствующего математического ожидания).

Для принятия последующего решения относительно величины оптимального срока замены транспортного средства, предварительно, в этом задании требуется:

- Принимая, что годовой пробег автомобиля данной марки при равномерной его загрузке составляет 20 000 (км), определить соответствующие моделирующие формулы для величины годовых затрат на ремонт одного автомобиля (по годам его эксплуатации);

- Методом Монте – Карло разыграть моделирующую последовательность таких затрат для шести лет эксплуатации автомобиля.

15. Моделируется работа склада, для которого поток заказов (клиентов) – рекуррентный с интенсивностью поступлений  $\lambda = 10$  (час<sup>-1</sup>), а число обслуживающих устройств равно 4, причем длительность обслуживания заказа (любым из устройств) – нормальная случайная величина  $N(0,2; 0,05)$ . Сколько различных типов моделирующих формул необходимо для реализации соответствующей имитационной модели работы такого склада?

## 11. Порядок формирования оценок по дисциплине

За 4 модуль (1 курс):

$$O_{\text{накопленная}} = 0,5 * O_{\text{текущий}} + 0,5 * (0,5 * O_{\text{ауд}} + 0,5 * O_{\text{сам. работа}})$$

$$O_{\text{текущий}} = 0,5 * O_{\text{к/р1}} + 0,5 * O_{\text{к/р2}}$$

$$O_{\text{промежуточный}} = 0,4 * O_{\text{накопл}} + 0,6 * O_{\text{экзамен промежуточный}}$$

Способ округления результирующей оценки по учебной дисциплине: арифметический

За 1-3 модуль (2 курс):

$$O_{\text{итоговая накопленная}} = 0,25 * O_{\text{промежуточный}} + 0,75 * (0,5 * O_{\text{текущий}} + 0,5 * (0,5 * O_{\text{ауд}} + 0,5 * O_{\text{сам. работа}}))$$

$$O_{\text{текущий}} = 0,25 * O_{\text{к/р3}} + 0,25 * O_{\text{к/р4}} + 0,25 * O_{\text{к/р5}} + 0,25 * O_{\text{д.з}}$$

$$O_{\text{результующая}} = 0,4 * O_{\text{итоговая накопл}} + 0,6 * O_{\text{экзамен}}$$

Способ округления результирующей оценки по учебной дисциплине: арифметический

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1 Базовый учебник

1. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Потоки событий и системы обслуживания. . 2-е изд., стер.– М.: Академия, 2011. - 272 с.
2. Бродецкий Г.Л. Управление запасами: учеб. пособие // – М.: Эксмо, 2008. - 352 с.
3. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Процедуры оптимизации. . 2-е изд., стер.– М.: Академия, 2014. - 288 с.

### 12.2 Основная литература

1. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в исследованиях логистики. Потоки событий и системы обслуживания. – М.: Академия, 2008.
2. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Экономико-математические методы и модели в логистике. Процедуры оптимизации – М.: Издательский центр «Академия», 2011.
3. Бродецкий Г.Л. Управление запасами. Учебник. –М.: Эксмо, 2008.
4. Бродецкий Г.Л. Управление запасами: учебное пособие. –М.: Эксмо, 2007.
5. Модели и методы теории логистики. Учебное пособие / Под ред. В.С. Лукинского. – СПб.: Питер, 2007.
6. Сергеев В. И. Логистика в бизнесе. – М.: Инфра-М, 2001
7. Практикум по логистике. Учебное пособие / Под ред. проф. Б. А. Аникина. – М.: Инфра-М, 2001.
8. Чернов В. П., Ивановский В. Б. Теория массового обслуживания. – М.: Инфра-М, 2000.
9. Эконометрика: Учебник / Н.П. Тихомиров Н.П., Дорохина Е.Ю. – М.: Издательство «Экзамен», 2003
10. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы в управлении: Учеб. пособие. – М.: Дело, 2000.

### 12.3 Дополнительная литература

1. Томас Р. Количественные методы анализа хозяйственной деятельности. – М.: Дело и Сервис, 1999.
2. В.И. Сергеев. Менеджмент в бизнес логистике. - М.: ФИЛИНЪ, 1997.
3. Бахарев В.О. Производственно заготовительная и сбытовая логистика фирмы. - СПб.: СПбГУЭФ, 1997.
4. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшая школа, 1997.
5. Таха Х. Введение в исследование операций. – М.: Мир, 1985.
6. Прабху Н. Стохастические процессы управлений запасами. М.: Мир, 1985.
7. Филлипс Д., Гарсия-Диас А. Методы анализа сетей. – М.: Мир, 1984, - 496 с.
8. Ивченко Г. И. и др. Теория массового обслуживания. – М.: Высшая школа, 1982.
9. Соболев И.М. Метод монте-Карло. – М.: Наука, 1980.
10. Кузнецов Ю. Н. и др. Математическое программирование. – М.: Высшая школа, 1976.



11. Ермольев Ю. Н. и др. Экстремальные задачи на графах. – М.: Наука, 1970.
12. Количественные методы в финансах: Учебное пособие для вузов / Пер. с англ. под ред. Ефимовой. – М.: Финансы, ЮНИТИ, 1999
13. Справочник по математике для экономистов / Под ред. проф. В. И. Ермакова. – М.: Высшая школа, 1997.
14. Исследование операций в экономике / Под ред. проф. Н. Ш. Кремера. – М.: ЮНИТИ, 1997.
15. Замков О. О. и др. Математические методы в экономике: Учебник. – М.: МГУ-ДИС, 1997.
16. Уолрэнд Дж. Введение в теорию сетей обслуживания. – М.: Мир, 1993.
17. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1991.
18. Емеличев В. А. и др. Лекции по теории графов. – М.: Наука, 1990.
19. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981.

### 12.5 Программные средства

Для успешного освоения дисциплины, студент использует следующие программные средства: надстройки MS Excel «Пакет анализа» и «Поиск решения»

## 13. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Компьютерные классы с установленным программным обеспечением: надстройки MS Excel

Автор программы: \_\_\_\_\_ / Г.Л.Бродецкий