

Федеральное агентство по образованию Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа по дисциплине		

УТВЕРЖДЕНО

Ученым советом факультета трансферных специальностей

Протокол № _____ от « ____ » _____ 200 ____ г.

Председатель (декан) _____ А.Г. Сквоиков
(подпись, расшифровка подписи)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплина:	Методы оптимизации

Кафедра:	Информационные технологии
	(ИТ) аббревиатура

Специальность (направление):

- 351400 – «Прикладная информатика (в экономике)»
- 080105 – «Финансы и кредит»

Дата введения в учебный процесс УлГУ: « ____ » _____ 200 ____ г.

Сведения о разработчиках:

ФИО	Аббревиатура кафедры	Ученая степень, звание
Семущин И.В.	ИТ	Д.т.н., проф.

Заведующий кафедрой	
_____ / _____ / (ФИО)	_____ / _____ / (Подпись)
« ____ » _____ 200 ____ г.	

Федеральное агентство по образованию Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа по дисциплине		

Цели и задачи изучения дисциплины

Предмет оптимизации – это увлекательная смесь эвристики и строгой математики, теории и эксперимента. Его можно изучать как ветвь чистой математики, хотя он имеет приложения почти в любой отрасли науки и техники. В этом предмете все задачи и методы оптимизации разделились на две большие части: (1) оптимизация без ограничений и (2) оптимизация при наличии ограничений.

Цель этого курса – представить те аспекты методов оптимизации, которые отражают текущее состояние этой науки и имеют первостепенную важность в решении проблем реальной жизни. Это невозможно сделать без опоры на практические данные о том, как ведут себя те или иные методы, поэтому практичности методов отводится центральное место. Основные методы описываются так, чтобы были понятны те эвристики, которые заставляют эти методы работать более эффективно. Для этого приводятся сравнительные результаты вычислительных экспериментов. Эксперименты важны также и для того, чтобы понять, что возможно и чего трудно ожидать от применения того или иного метода. Никто не может отрицать важность теоретических изысканий и анализа в том смысле, что теоретик будет всегда в более выгодном положении в решении вопроса о возможностях того или иного метода. Однако в данном курсе теория используется не ради теории, а только с тем, чтобы показать, как методы устроены и насколько хорошо они работают.

Обычно аудитория состоит из двух категорий студентов: условно «практиков» и «теоретиков». Первая категория – те, кто не ищет строгих математических обоснований и предпочитает быстрее перейти к алгоритмам, их программной реализации и вычислительным экспериментам. Вторая категория – те, для кого более важно вникнуть в доказательства фундаментальных свойств конкретных методов, т.е. тех свойств, которые присущи данному методу и принципиально отличают его от других. Учитывая эти интересы и приспособившись к конкретной аудитории, мы выбираем стиль, при котором базовый материал излагается в простых терминах, а более трудный материал представляется строго или может быть безболезненно опущен.

Опыт показывает, что студент гораздо лучше вникает в существо изучаемого метода, если он сам реализует этот метод, проводит для него вычислительный эксперимент, анализирует получаемые результаты и формулирует выводы. Такое «проектно-ориентированное обучение» обеспечивает условия для более качественного изучения материала и создает для студента режим «распределенных требований» – равномерное распределение усилий студента по длительности всего семестра. Оно не позволяет студенту отложить всю его работу на последние две недели семестра, так как итоговая (экзаменационная) оценка формируется как взвешенное среднее от оценок за все виды его семестровой работы.

Таким образом, в курсе выбран следующий подход: показывать практическую реализацию методов оптимизации, давать основные теоретические обоснования и закреплять изучение собственной компьютерной реализацией (различного уровня) отдельных методов.

1. Требования к уровню освоения дисциплины:

В результате изучения этого курса студенты будут:

- иметь представление о том, в чем заключаются особенности задач безусловной и условной нелинейной оптимизации;
- знать основные теоретические положения о методах оптимизации;

Федеральное агентство по образованию Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа по дисциплине		

- уметь работать с математическими пакетами, содержащими средства оптимизации: MatLab и MathCAD;
- иметь навыки элементарного программирования отдельных алгоритмов оптимизации, планирования и проведения вычислительного эксперимента и анализа получаемых результатов.

2. Объем дисциплины


3.1. Объем дисциплины и виды учебной работы:

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения – дневная)			
	Всего по плану	В т.ч. по семестрам		
		1	2	3
Аудиторные занятия:	68	68		
Лекции	34	34		
практические и семинарские занятия	17	17		
лабораторные работы	17	17		
Самостоятельная работа	52	52		
Всего часов по дисциплине	120	120		
Текущий контроль (количество и вид)	2 контрольные работы	2 контрольные работы		
Курсовая работа	0	0		
Виды промежуточного контроля (экзамен, зачет)	экзамен	экзамен		

3.2. Распределение часов по темам и видам учебной работы:

Форма обучения – дневная

Название и разделов и тем	Всего	Виды учебных занятий			
		Аудиторные занятия			Самостоятельная работа
		Лекции	практические занятия, семинар	лабораторная работа	
Раздел 1. Безусловная оптимизация					
1. Математические основы.	8	2	2	0	4
2. Структура методов.	19	4	3	4	8
3. Методы ньютоновского типа.	20	6	2	4	8
4. Градиентные методы.	8	2	2	0	4
5. Методы с ограничением шага	8	2	2	0	4
6. Суммы квадратов и нелинейные уравнения.	15	4	1	4	6
Раздел 2. Условная оптимизация					
7. Теория условной оптимизации.	13	6	2	0	5
8. Квадратичное программирование.	4	2	0	0	2
9. Нелинейная оптимизация с линейными ограничениями.	15	2	2	5	6
10. Нелинейное программирование.	6	2	1	0	3
11. Другие задачи оптимизации.	4	2	0	0	2
Всего часов по темам и видам учебной работы					
Всего часов	120	34	17	17	52

Федеральное агентство по образованию Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа по дисциплине		

3. Содержание курса (Лекции)

Раздел 1. Безусловная оптимизация (20 час)

Тема 1. Математические основы (2 час). Функции одной и многих переменных. Производная по направлению. Наклон вдоль линии и кривизна вдоль линии. Градиент и матрица Гессе. Линейные и квадратичные функции. Ряд Тэйлора.

Тема 2. Структура методов (4 час). Условия локального минимума. Методы «на данный случай»: метод правильного симплекса (Спендли-Хекса-Химсворта), метод деформируемого симплекса (Нелдера-Мида), метод покоординатного спуска и метод Хука-Дживса. Полезные свойства алгоритмов: локальная сходимость, порядок сходимости, линейная сходимость, квадратичная сходимость, суперлинейная сходимость, квадратичные модели, методы с ограничением шага и метод доверительной области, алгоритм линейного поиска, методы спуска, метод наискорейшего спуска, тест сходимости или правило останова, роль квадратичных моделей – метод Ньютона, методы ньютоновского типа и метод сопряженных направлений. Методы спуска и устойчивость – глобальная сходимость методов спуска. Алгоритмы для подзадачи линейного поиска: поиск методом дихотомии, поиск методом Фибоначчи, поиск методом золотого сечения.

Тема 3. Методы ньютоновского типа (6 час). Метод Ньютона и его модификации (Голдштейн-Прайс 1967, Левенберг-Марквардт 1963, Мюррей-Хебден 1972-73, Фиакко-Маккормик 1968, Маккормик 1977 и Голдфарб 1980). Квазиньютоновские методы: метод Ньютона с конечными разностями, методы переменной метрики. Формула ранга 1 – Бройден (1967), Давидон (1968), Фиакко и Маккормик (1968), Мурта и Сарджент (1969), а также Вулф (1968). Формула *DFP* – Давидон (1959), Флетчер и Пауэлл (1963). Формула *BFGS* – Бройден, Флетчер, Голдфарб и Шано (1970). Семейство Бройдена, включающее *DFP* и *BFGS*. Инвариантность, метрики и вариационные свойства. Свойства алгоритмов семейства Бройдена.

Тема 4. Градиентные методы (2 час). Метод наискорейшего спуска. Квадратичные функции – методы Ньютона, Ньютона-Рафсона и сопряженных направлений. Методы возможных направлений. Метод Пауэлла (1964).


Тема 5. Методы с ограничением шага (2 час). Алгоритм-прообраз для методов с ограничением шага (с доверительной областью). Методы Левенберга-Марквардта.

Тема 6. Суммы квадратов и нелинейные уравнения (4 час). Нелинейные переопределенные системы уравнений и наименьшие квадраты. Методы линейного поиска для нелинейных наименьших квадратов. Приложение метода Ньютона-Рафсона к хорошо определенным системам. Сжимающие отображения. Другие методы: метод пути Давыденко и метод продолжения. Методы без производных.

Раздел 2. Условная оптимизация (14 час)

Тема 7. Теория условной оптимизации (6 час). Предварительный обзор методов условной оптимизации. Исключение и другие преобразования. Множители Лагранжа. *KT*-условия (Кун-Таккер 1951). Условия первого порядка: Лемма Фаркаша (отсекающая гиперплоскость). Условия второго порядка (необходимые условия и достаточные условия). Выпуклость. Поддерживающая гиперплоскость. Дуальность в выпуклом программировании.

Тема 8. Квадратичное программирование (2 час). Квадратичная целевая функция и линейные ограничения. Ограничения типа равенства. Обобщенный метод исключения. Метод ортогональной факторизации. Упрощенный градиентный метод Вулфа (1963). Метод Лагранжа. Методы активных множеств и другие методы.

Федеральное агентство по образованию Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа по дисциплине		

Тема 9. Нелинейная оптимизация с линейными ограничениями (2 час). Целевая функция общего вида и линейные ограничения. Ограничения типа равенств. Ограничения типа неравенств. Метод активных множеств.

Тема 10. Нелинейное программирование (2 час). Штрафные и барьерные функции. Штрафная функция Куранта (1943). Сходимость штрафной функции. Штрафные функции с множителем. Оценивание множителей Лагранжа. Метод Пауэлла-Хестенса (1969) и Пауэлла (1969). Метод Лагранжа-Ньютона (*SQP – sequential quadratic programming method*).

Тема 11. Другие задачи оптимизации (2 час). Целочисленная оптимизация – метод ветвей и границ. Задача геометрического программирования. Сетевая оптимизация – понятия теории графов и метод симплекса в терминах остовных деревьев. Динамическая оптимизация – динамический процесс распределения ресурсов, метод функциональных уравнений, принцип оптимальности Беллмана и вычислительная схема.

4. Темы практических или семинарских занятий

Практические занятия проводятся синхронно с тематикой лекционного материала в форме наглядных иллюстраций примерами, упражнениями и решением задач.

Раздел 1. **Безусловная оптимизация** (12 час)

Тема 1. Математические основы (2 час).

Тема 2. Структура методов (3 час).

Тема 3. Методы ньютоновского типа (2 час).

Тема 4. Градиентные методы (2 час).

Тема 5. Методы с ограничением шага (2 час).

Тема 6. Суммы квадратов невязок и нелинейные уравнения (1 час).

Раздел 2. **Условная оптимизация** (5 час)

Тема 7. Теория условной оптимизации (2 час).

Тема 9. Нелинейная оптимизация с линейными ограничениями (2 час).

Тема 10. Нелинейное программирование (1 час).

5. Лабораторные работы (лабораторный практикум)

Раздел 1. **Безусловная оптимизация** (12 час)


Тема 2. Структура методов (4 час). Лабораторная работа №1: Минимизация унимодальной функции одной переменной. Функция `fminbnd` MATLAB 6.x/7.x.

Тема 3. Методы ньютоновского типа (4 час). Лабораторная работа №2: Многомерная безусловная минимизация. **1** – алгоритм симплексного поиска, функция `fminsearch` MATLAB 6.x/7.x. **2** – метод Ньютона и метод доверительного интервала, функция `fminunc` MATLAB 6.x/7.x.

Тема 6. Суммы квадратов невязок и нелинейные уравнения (4 час). Лабораторная работа №3: Нелинейные наименьшие квадраты. **1** – метод Гаусса-Ньютона. **2** – метод Левенберга-Марквардта. Функция `lsqnonlin` MATLAB 6.x/7.x.

Раздел 2. **Условная оптимизация** (5 час)

Тема 9. Нелинейная оптимизация с линейными ограничениями (5 час) Лабораторная работа №4: Метод множителей Лагранжа. **1** – минимум заданной функции в заданной области. **2** – минимум суммы квадратов отклонений (задача управления роботом-манипулятором в плоскости). Функция `fmincon` MATLAB 6.x/7.x.

Федеральное агентство по образованию Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа по дисциплине		


6. Тематика контрольных работ

Контрольная работа №1 – Методы оптимизации ньютоновского типа.

Контрольная работа №2 – Нелинейная оптимизация с линейными ограничениями.

7. Вопросы экзамена

1. Функции одной и многих переменных: производная по направлению, наклон вдоль линии и кривизна вдоль линии, градиент и матрица Гессе, линейные и квадратичные функции, ряд Тэйлора.
2. Разновидности точек минимума. Условия локального минимума.
3. Методы «на данный случай»: метод правильного симплекса, метод деформируемого симплекса, покоординатный спуск и метод Хука-Дживса.
4. Полезные свойства алгоритмов: локальная сходимость, линейная сходимость, квадратичная сходимость, суперлинейная сходимость.
5. Квадратичные модели, методы с ограничением шага и метод доверительной области.
6. Алгоритм линейного поиска: методы спуска, метод наискорейшего спуска, тест сходимости или правило остановки.
7. Роль квадратичных моделей – метод Ньютона, методы ньютоновского типа и метод сопряженных направлений.
8. Методы спуска и устойчивость – глобальная сходимость методов спуска.
9. Алгоритмы для подзадачи линейного поиска: поиск методом дихотомии, поиск методом Фибоначчи, поиск методом золотого сечения.
10. Метод Ньютона и его модификации.
11. Квазиньютоновские методы.
12. Метод наискорейшего спуска. Квадратичные функции – методы Ньютона, Ньютона-Рафсона и сопряженных направлений.
13. Методы возможных направлений. Метод Пауэлла.
14. Алгоритм-прообраз для методов с ограничением шага (с доверительной областью). Методы Левенберга-Марквардта.
15. Методы линейного поиска для нелинейных наименьших квадратов.
16. Обзор методов условной оптимизации.
17. Множители Лагранжа. *KT*-условия (Кун–Таккер).
18. Условия первого порядка: Лемма Фаркаша (отсекающая гиперплоскость).
19. Условия второго порядка (необходимые условия и достаточные условия).
20. Выпуклость. Дуальность в выпуклом программировании.
21. Квадратичная целевая функция и линейные ограничения. Ограничения типа равенства. Обобщенный метод исключения.
22. Целевая функция общего вида и линейные ограничения. Ограничения типа равенств. Ограничения типа неравенств. Метод активных множеств.
23. Штрафные и барьерные функции. Штрафная функция Куранта.
24. Штрафные функции с множителем. Оценивание множителей Лагранжа. Метод Лагранжа-Ньютона (*SQP – sequential quadratic programming method*).
25. Целочисленная оптимизация – метод ветвей и границ.
26. Задача геометрического программирования.
27. Сетевая оптимизация – метод симплекса в терминах остовных деревьев.
28. Динамическая оптимизация – динамический процесс распределения ресурсов, метод функциональных уравнений, принцип оптимальности Беллмана и вычислительная схема.

Федеральное агентство по образованию Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа по дисциплине		

8. Критерии оценки учебной работы студента

Общее правило:

- Оценка работы студента есть взвешенное среднее посещаемости (А), домашней работы (Н) и экзамена (Е), где под "экзаменаом" (см. подробнее ниже) понимается учет не только финального экзамена (во время сессии), но и контрольных работ в течение семестра:

5 % - посещаемость

*Этот вес действует только в случае, если студент посещает занятия. Если студент пропускает занятия, этот вес прогрессивно возрастает (см. разд. **Посещаемость**). Студент может получить "неудовлетворительно" исключительно в результате низкой посещаемости !*

30 % - домашняя работа

65 % - экзамен

Таким образом, финальная оценка (FG) вычисляется по правилу:

$$FG = 0.05 A + 0.30 H + 0.65 E,$$

где каждая составляющая:

А = посещаемость,

Н = домашняя работа,

Е = экзамен

выражается целым числом от 0 до 100 баллов.

- Эта итоговая оценка затем отображается на стандартную шкалу оценок:

83 – 100 = "отлично"

70 – 82 = "хорошо"

56 – 69 = "удовлетворительно"

0 – 55 = "неудовлетворительно"

Пример 1:

Иван С. Студент имеет следующие баллы:

$$A = 90, H = 87, E = 83. \text{ Тогда } 0.05 \times 90 + 0.30 \times 87 + 0.65 \times 83 = 84.6$$

Следовательно, Иван заработал "отлично".

Посещаемость

- Каждое учебное занятие, в том числе лекция, начинается с росписи студента в явочном листе. Поставить свою роспись – личная ответственность студента. Отсутствие росписи означает отсутствие студента на занятии. Чтобы отсутствие студента было расценено как уважительное, студент должен известить об этом преподавателя своевременно (т.е. в течение одной недели до или после занятия). Приемлемая форма предупреждения – телефонное сообщение на рабочий телефон (секретарю кафедры) или записка преподавателю (через секретаря кафедры).

- Оценка студента за посещаемость будет определяться по следующей таблице:

Число неуважительных пропусков *	Балл	Вклад в итоговую оценку
0	100	+5
1	90	+4.5
2	50	+2.5
3	0	+0
4	-50	-2.5
5	-100	-5
6	-150	-7.5
7	-200	-10
8	-400	-20
9	-600	-30
10	-800	-40

- При числе **неуважительных** пропусков выше девяти у студента нет практического шанса получить положительную итоговую оценку за весь курс.
* Неуважительный пропуск есть пропуск занятия, который не связан с болезнью, с семейной утратой или с факультетским мероприятием.
- Студент может иметь максимум 8 уважительных пропусков. После этого **все пропуски считаются неуважительными !**

Если спортсмену необходимо пропустить занятие по уважительной причине, его тренеру следует известить об этом преподавателя заранее в письменной форме. Если студент болен, он должен позвонить на кафедру, чтобы преподавателя об этом известили. Пропуск будет неуважительным, если преподавателя не известят в течение одной недели отсутствия студента. Предпочтительно, чтобы студент оставлял телефонное сообщение или передавали записку секретарю кафедры, нежели сообщал преподавателю лично о своих пропусках. Сообщение должно содержать номер группы, день и время пропускаемого занятия, название предмета и, конечно, имя и фамилию студента.

Пример 2:

Студент Петр П. имеет следующие баллы:

$$A = -100, H = 100, E = 100.$$

(он допустил 5 неуважительных пропусков).

$$\text{Тогда } FG = 0.05 \times (-100) + 0.30 \times 100 + 0.65 \times 100 = 90$$

Следовательно, Петр П. заработал "отлично". Если же он при этом допустил 10 неуважительных пропусков, то тогда его $A = -800$ и, соответственно

$$FG = 0.05 \times (-800) + 0.30 \times 100 + 0.65 \times 100 = 55$$

Петр П. получает $FG = 55$ и, соответственно, оценку "неудовлетворительно".

Студентам надо иметь в виду, что оценки зарабатываются !

Федеральное агентство по образованию Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа по дисциплине		

Домашняя работа

- Студенту будет предложен ряд домашних заданий, которые – по нашему предположению – он выполнит и сдаст. Баллы за отдельные задания складываются и тем самым образуют H , т.е. оценку за этот вид учебной работы студента. Любая сдача домашнего задания позже установленного срока повлечет уменьшение оценки H на 10 баллов. За каждое невыполненное задание в H поступает 0.
- По данному курсу домашние задания представляют собой задания на лабораторные работы. Студенту предлагается выполнить 3 или 4 таких работы за семестр, т.е. он получает до 4-х заданий. Максимальное количество баллов H , которое можно заработать за всю домашнюю работу, составляет 100. Эти 100 баллов мы разделяем равномерно между общим числом выданных домашних заданий. Подготовку к лабораторным работам в дисплейном классе студент выполняет дома, поэтому эта работа называется домашней. В классе студент доводит эту работу до готовности и сдает преподавателю путем демонстрации программы в действии. Поощряется написание собственных программ оптимизации, но равным образом принимается решение задач оптимизации в среде MATLAB 6.x/7.x. Работа с теми же задачами оптимизации в MathCAD может расцениваться как дополнительная иллюстрация.

Преподаватель, ведущий практические занятия в дисплейном классе, назначит сроки сдачи домашних работ и на каждом занятии с готовностью поможет студенту, если тот ясно сформулировал те конкретные вопросы, которые у него возникли дома.

Экзамены


- Оценка за экзамены, т.е. величина E в составе финальной оценки, определяемой по формуле

$$FG = 0.05 A + 0.30 H + 0.65 E,$$

будет определена как равномерно взвешенное среднее результатов письменных контрольных работ в течение семестра и устного ответа на экзамене во время экзаменационной сессии. При том, что контрольные работы письменно проверяют умение студента решать задачи, устный экзамен есть всеобъемлющая проверка знания основных положений теории, умения аргументировать эти положения и делать из них логические выводы. В совокупности, эти (письменная и устная) части экзамена покрывают весь учебный курс. Для этого мы проводим две контрольные работы за семестр.

- Контрольные работы будут объявлены студентам заранее – не позднее, чем за неделю. Если студент собирается пропустить контрольную работу (это должен быть уважительный пропуск), преподаватель предпочтет, чтобы студент написал эту работу раньше назначенного срока. Если студент не сможет написать контрольную работу до назначенного срока, то он должен принять все меры к тому, чтобы написать ее в течение недели после контрольного срока. По истечении недели после этого студент получит ноль. Студент также получит ноль за неуважительный пропуск контрольной работы.

Мы переписываем и заменяем некоторые задания или делаем небольшие вариации в постановке экзаменационных вопросов по сравнению с теми, которые опубликованы. Об этом будет объявлено за две недели до контрольных работ и финального экзамена.

Федеральное агентство по образованию Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа по дисциплине		

9. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература:

1. Банди, Б. Методы оптимизации. Вводный курс / Б. Банди. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1988. – 126 с.
2. Гилл, Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. Пер. с англ. – М.: Мир, 1985.
3. Семушин, И. В. Практикум по методам оптимизации Компьютерный курс: учеб. пособие для вузов / И. В. Семушин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 146 с.
4. Зайченко, Ю. П. Исследование операций: учеб. пособие для вузов / Ю. П. Зайченко. – Киев: Вища школа, 1975. – 320 с.
5. Галлеев Э. М. Оптимизация: Теория. Примеры. Задачи / Э. М. Галлеев, В. М. Тихомиров. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 317 с.

Дополнительная литература:

1. Алексеев В. М. Сборник задач по оптимизации: Теория. Примеры. Задачи / В. М. Алексеев, Э. М. Галлеев, В. М. Тихомиров. – М., 1984. – 288 с.
2. Романовский, И. В. Алгоритмы решения экстремальных задач / И. В. Романовский. – М.: Наука, 1977.
3. Сухарев, А. Г. Курс методов оптимизации / А. Г. Сухарев, А. В. Тимохов, В. В. Федоров – М.: Наука, 1986.
4. Fletcher, R. Practical Methods of Optimization. Second Edition / R Fletcher. – N.-Y.: John Wiley & Sons, 2004.
5. Дэннис, Дж. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений / Дж. Дэннис, мл., Р. Шнабель. Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 440 с.
6. Бертсекас, Д. Условная оптимизация и методы множителей Лагранжа / Д. Бертсекас. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 400 с.
7. Базара, М. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы / М. Базара, К. Шетти. – М.: Мир, 1982.
8. Ху, Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях / Т. Ху. Пер. с англ. – М.: Мир, 1974.
9. Беллман, Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус. Пер. с англ. – М.: Наука, 1965. – 460 с.

Материально-техническое или информационное обеспечение дисциплины – дисплейные классы университета.

Примечание: Разделы, не предусмотренные учебным планом специальности (направления), исключены.