

Федеральное агентство по образованию
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОУВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой энергетики
_____ Н.В.Савина
« ____ » _____ 2007 г.

*Применение теории вероятностей и математической статистики в
энергетике*
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
для специальности:

140101	«Тепловые электрические станции»;
--------	-----------------------------------

Составитель: доц. Л.А. Гурина

Благовещенск

2007 г.

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
энергетического факультета
Амурского государственного университета

Л.А. Гурина

Учебно-методический комплекс по дисциплине Применение теории вероятностей и математической статистики в энергетике предназначен для студентов формы обучения специальности 140101 – «Тепловые электрические станции». – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007.

Учебно-методический комплекс ориентирован на оказание помощи студентам очной формы обучения освоением математических методов, применяемых для анализа параметров режима работы тепловой станции с учётом их случайного характера, оценки надёжности теплоснабжения, а также оптимизации систем теплоснабжения.

© Амурский государственный университет, 2007

© Л.А. Гурина

Содержание

1. Рабочая программа дисциплины.....	4
2. График самостоятельной работы студентов по дисциплине на каждый семестр с указанием ее содержания, объема в часах, сроков и форм контроля.....	22
3. Методические указания и рекомендации по проведению семинарских и практических занятий, самостоятельной работы студентов.....	23
4. Краткий конспект лекций.....	25
5. Методические указания по выполнению домашних заданий	56
6. Перечень программных продуктов, реально используемых в практике деятельности выпускников.....	56
7. Методические указания по применению современных информационных технологий для преподавания учебной дисциплины.....	57
8. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов	57
9. Контрольные вопросы к зачету	57
10. Карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава.....	59

1. Рабочая программа дисциплины

Федеральное агентство по образованию РФ
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УНР

Е.С. Астапова

«__» _____ 200__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине "Применение теории вероятностей и математической статистики в энергетике"

для специальности

140101 – "Тепловые электрические станции"

Очное обучение

Курс 3

Зачет 5 семестр

Лекции - 36 час.

Лабораторные занятия – 18 час.

СРС – 12 час.

Всего часов – 66 час.

Составитель Л.А. Гурина, канд. техн. наук, ст. преподаватель
Факультет Энергетический
Кафедра Энергетики

2006 г.

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению «Тепловые электрические станции» по специальности 140101

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Энергетики

" ____ " _____ 2006 г., протокол № _____

Заведующий кафедрой _____ (Н.В. Савина)

Рабочая программа одобрена на заседании УМС

" ____ " _____ 2006 г., протокол № _____

Председатель УММС _____

СОГЛАСОВАНО

Начальник УМУ

_____ Г.Н. Торопчина

" ____ " _____ 2006 г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель УМС факультета

" ____ " _____ 2006 г.

СОГЛАСОВАНО

Заведующий выпускающей кафедрой

_____ Н.В. Савина

" ____ " _____ 2006 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

1.1. Цель преподавания дисциплины

Целью изучения дисциплины является создание теоретической основы у студентов для использования методов теории вероятностей и математической статистики, оптимизационных методов в практических инженерных исследованиях, а также математической основы для восприятия студентом соответствующих разделов специальных дисциплин

Основой для изучения дисциплины являются курсы "Высшая математика", "Введение в специальность". В свою очередь дисциплина является базой для изучения курса "Надёжность" и дисциплин специализаций.

Очень важно для инженера уметь практически применять современные методы такой общетеоретической дисциплины как прикладная математика.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Задачей изучения дисциплины является овладение математическими методами, применяемыми для анализа параметров режима работы тепловой станции с учётом их случайного характера, оценки надёжности теплоснабжения, а также оптимизации систем теплоснабжения.

В результате изучения курса студенты должны знать:

основные теоремы теории вероятностей, законы вероятностей сложных событий и область их применения, теорему о повторении опытов и как она применяется в теплоэнергетике, основные законы распределения вероятностей случайных величин, наиболее распространённые в теплоэнергетике, применение случайных величин в теплоэнергетике;

числовые характеристики случайных величин, их точечные и интервальные оценки, методiku обработки статистических данных, полученных при исследовании параметров режима работы тепловой станции, показателей качества тепловой энергии;

характеристики случайных процессов и их экспериментальное определение, определение стационарности и эргодичности случайных процессов, спектральное разложение, область применения теории случайных процессов в задачах теплоэнергетики;

существующий подход к оптимизации параметров и режимов работы тепловой электрической станции, методы построения математических оптимизационных моделей, основные методы линейного и нелинейного программирования, область их применения в теплоэнергетике;

уметь:

определять вероятность событий;

применять теорему сложения и умножения вероятностей для независимых событий, формулу полной вероятности для зависимых событий в задачах теплоэнергетики;

рассчитать числовые характеристики случайных величин, коэффициенты корреляции, определять вероятность попадания случайной величины в заданный интервал, максимальное значение параметров режима при заданной вероятности;

строить гистограммы распределения случайных величин, определять оценки числовых характеристик (точечные и интервальные), аппроксимировать статистические распределения вероятностей известными теоретическими функциями, пользоваться критериями согласия;

различать понятия числовых характеристик случайных величин и случайных функций, рассчитывать корреляционные функции, устанавливать стационарность и эргодичность случайных процессов, пользоваться спектральным разложением при исследовании процессов в теплоэнергетических системах;

составлять целевую функцию и ограничения при одно- и многопараметрической оптимизации, приводить их к каноническому виду, пользоваться методами математического программирования в задачах теплоснабжения: симплексным методом, методом Лагранжа.

1.3. Перечень дисциплин, освоение которых необходимо при изучении данной дисциплины

Высшая математика: теория графов, теория вероятностей и математическая статистика;

Электротехника: электрические схемы.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Федеральный компонент

СД 11

ЕН.Ф.01 Вероятность и статистика: модели случайных процессов, проверка гипотез, статистические методы обработки экспериментальных данных.

В процессе изучения данной дисциплины студенты должны приобрести навыки построения математических моделей простейших систем и процессов, вероятностные модели для конкретных процессов, проводить необходимые расчеты в рамках построенной модели.

2.2. Наименование тем, их содержание и объем в часах.

Раздел 1. Введение.

Тема 1. Задачи курса, его содержание и связь со специальными дисциплинами. Общие сведения о тепловых электрических станциях и системах теплоснабжения. Режимы работы станции. Примеры случайных событий в теплоэнергетике. Система теплоснабжения как объект математического исследования. Роль прикладной математики в решении задач теплоэнергетики (2 часа).

Раздел 2. Применение вероятностно-статистических методов в задачах теплоэнергетики.

Тема 2. Модель – случайное событие.

Случайные явления и процессы в теплоэнергетике. Основные понятия и определения теории вероятностей. Случайные события, классификация случайных событий. Примеры случайных событий в теплоэнергетике. Полная группа событий. Принцип практической уверенности. Формула полной вероятности. Теорема о повторении опытов. Построение упорядоченных диаграмм с помощью схемы независимых испытаний. Основные понятия теории надёжности. Применение основных теорем теории вероятностей для определения показателей надёжности схем теплоснабжения и оборудования теплоэлектростанций. Определение и виды ущербов от перерывов в теплоснабжении (4 часа).

Тема 3. Модель – случайная величина.

Случайные величины в теплоэнергетике. Непрерывные и дискретные случайные величины. Статистический ряд, многоугольник распределения. Законы распределения случайных величин, числовые характеристики случайных величин и их свойства. Законы распределения вероятностей случайных величин, применяемые в теплоэнергетике. Определение вероятности попадания случайной величины в заданный интервал. Системы случайных величин и их характеристики, коэффициент корреляции (2 часа).

Тема 4. Модель – случайный процесс.

Общие сведения о случайных функциях и процессах. Характеристики случайных процессов, их экспериментальное определение. Авто- и взаимно корреляционные функции. Стационарные и нестационарные случайные процессы. Эргодическое свойство стационарных случайных процессов. Спектральное разложение случайного процесса, спектральная плотность. Процессы в системах теплоснабжения как случайные функции времени. Расчёт тепловых нагрузок при представлении их случайным процессом. Применение теории вероятностей при анализе качества тепловой энергии (8 часов).

Тема 5. Основные понятия и задачи математической статистики.

Статистические исследования на уровне случайных величин. Задачи, решаемые с помощью математической статистики в теплоэнергетике. Закон

больших чисел и следствия из него. Построение гистограммы. Точечные и интервальные оценки числовых характеристик. Критерии согласия. Экспериментальное определение параметров режима работы станции. Оценка точности измерений. Определение тепловой расчётной нагрузки статистическим методом (4 часа).

Тема 6. Метод наименьших квадратов.

Линейные модели регрессий. Свойство МНК-оценок. Оценка параметров регрессии. Прогнозирование тепловых нагрузок на основе регрессионных моделей (2 часа).

Тема 7. Энтропия как мера неопределенности состояния ТЭС. Энтропия и информация. Передача информации с искажениями (2 часа).

Тема 8. Анализ информации при различных режимах работы и эксплуатации ТЭС. Прогнозирование и выбор расчетных ТЭП (2 часа).

Раздел 3. Оптимизация систем теплоснабжения и режимов работы тепловой электрической станции.

Тема 9. Постановка задачи оптимизации систем теплоснабжения и режимов работы тепловой электрической станции.

Задачи теплоснабжения и режимы работы тепловой станции, требующие поиска оптимальных решений. Математическая модель оптимизации, выбор критериев оптимизации и ограничений. Основные экономические показатели работы станции и системы теплоснабжения: капитальные вложения и эксплуатационные издержки (амортизационные отчисления, отчисления на текущий ремонт и обслуживание, стоимость потерь тепловой энергии, ущерб от перерывов в теплоснабжении, ущерб от низкого качества тепловой энергии). Технико-экономический анализ. Способы преобразования целевой функции и ограничений к каноническому виду (6 часов).

Тема 10. Применение методов линейного программирования к решению оптимизационных задач в теплоэнергетике.

Определение основных понятий математического программирования. Классификация методов оптимизации. Формулировка задачи линейного программирования. Геометрическая интерпретация линейного программирования. Алгебраические преобразования линейных оптимизационных моделей. Применение методов линейного программирования для решения задач теплоэнергетики (2 часа).

Тема 11. Применение методов нелинейного программирования к решению оптимизационных задач в теплоэнергетике.

Формулировка задачи нелинейного программирования. Необходимые и достаточные условия существования локального минимума целевой функции. Классический метод определения условного экстремума. Метод Лагранжа. Применение методов нелинейного программирования к решению оптимизационных задач в теплоэнергетике (2 часа).

2.3. Практические занятия (18 часов).

№ п.п.	Наименование темы	Кол-во часов
1.	Применение законов вероятностей сложных событий для решения теплоэнергетических задач.	2
2.	Определение вероятности попадания случайной величины в заданный интервал при нормальном, равномерном и экспоненциальном законах распределения вероятностей.	2
3.	Экспериментальный анализ параметров режима работы тепловой электрической станции. Построение гистограмм.	2
4.	Определение числовых характеристик случайных величин. Применение критериев согласия. Построение доверительных интервалов. Определение расчетной тепловой нагрузки статистическим методом.	2
5.	Анализ случайных процессов изменения параметров режима ТЭС.	2
6.	Определение показателей надёжности и ремонта элементов систем теплоснабжения и оборудования тепловой электрической станции. Определение ущерба от недоотпуска тепловой энергии при перерывах теплоснабжения.	2
7.	Решение оптимизационных задач режимов тепловой электрической станции методами линейного	2

	программирования.	
8.	Решение оптимизационных задач режимов тепловой электрической станции методами нелинейного программирования.	2
9.	Обзор задач по всем темам за семестр.	2

2.5. Самостоятельная работа студентов.

Содержание самостоятельной работы студентов

1. Различие между чистой и прикладной математикой /2, с. 19-21/;
2. Построение математических моделей /4, с. 38-41/;
3. Правдоподобие и математические ошибки /4, с. 201-203/;
4. Вывод теоремы о сложении сложных событий, состоящих из трёх и более простых /2, с. 60-63/;
5. Доказательство общей теоремы о повторении опытов /2, с. 58-60/;
6. Теорема гипотез /4, с. 154-157/;
7. Определение показателей надёжности элементов схемы теплоснабжения и оборудования ТЭС /6, с. 26-28/;
8. Теоремы о числовых характеристиках случайной величины /2, с. 75-78/;
9. Коэффициент корреляции /7, с. 91-93/;
10. Определение статистических функций и плотности распределения случайных величин /5, с. 48-51/;
11. Система случайных функций, взаимная корреляционная функция /4, с. 98-101/;
12. Одно- и многопараметрическая оптимизация /12, с. 36-39/.

2.6. Перечень и темы промежуточных форм контроля знаний

К промежуточным формам контроля знаний относятся:

- блиц-опрос на лекциях по пройденному материалу;
- контрольные работы;

- выполнение индивидуальных домашних заданий с последующей их защитой;
- тестирование.

2.7. Вопросы к зачету

1. Система теплоснабжения как объект математического исследования.
2. Случайные явления и процессы в теплоэнергетике.
3. Случайные события, классификация случайных событий. Примеры случайных событий в теплоэнергетике.
4. Основные понятия теории надёжности.
5. Применение основных теорем теории вероятностей для определения показателей надёжности схем теплоснабжения и оборудования теплоэлектростанций.
6. Определение и виды ущербов от перерывов в теплоснабжении.
7. Случайные величины в теплоэнергетике.
8. Законы распределения вероятностей случайных величин, применяемые в теплоэнергетике.
9. Определение вероятности попадания случайной величины в заданный интервал.
10. Системы случайных величин и их характеристики, коэффициент корреляции.
11. Определение случайного процесса.
12. Характеристики случайных процессов, их экспериментальное определение.
13. Авто- и взаимно корреляционные функции.
14. Стационарные и нестационарные случайные процессы. Эргодическое свойство стационарных случайных процессов.
15. Спектральное разложение случайного процесса, спектральная плотность.

16. Процессы в системах теплоснабжения как случайные функции времени.
17. Расчёт тепловых нагрузок при представлении их случайным процессом.
18. Применение теории вероятностей при анализе качества тепловой энергии.
19. Задачи, решаемые с помощью математической статистики в теплоэнергетике.
20. Точечные и интервальные оценки числовых характеристик.
21. Построение гистограммы.
22. Экспериментальное определение параметров режима работы станции.
23. Оценка точности измерений.
24. Определение тепловой расчётной нагрузки статистическим методом.
25. Линейные модели регрессий.
26. Оценка параметров регрессии.
27. Прогнозирование тепловых нагрузок на основе регрессионных моделей.
28. Энтропия как мера неопределенности состояния ТЭС.
29. Анализ информации при различных режимах работы и эксплуатации ТЭС.
30. Прогнозирование и выбор расчетных ТЭП.
31. Оптимизация систем теплоснабжения и режимов работы тепловой электрической станции.
32. Задачи теплоснабжения и режимы работы тепловой станции, требующие поиска оптимальных решений.
33. Математическая модель оптимизации, выбор критериев оптимизации и ограничений.
34. Основные экономические показатели работы станции и системы теплоснабжения.
35. Определение основных понятий математического программирования.
36. Формулировка задачи линейного программирования.
37. Применение методов линейного программирования для решения задач теплоэнергетики.
38. Формулировка задачи нелинейного программирования.

39. Применение методов нелинейного программирования к решению оптимизационных задач в теплоэнергетике.

3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1. Литература

Основная литература

1. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: Учебник для вузов - Мн.: Дизайн ПРО, 1997.- 640 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 1999.- 579 с.
3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Задачи и упражнения по теории вероятностей: Учебное пособие - М.: Высшая школа, 2000.-276 с.
4. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 2000.–276 с.
5. Гмурман В.В. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 2001.– 479 с.

Дополнительная литература

6. Ишмухаметов А.З. Методы решения задач оптимизации: Учебное пособие – М.: Издательство МЭИ, 1998. – 80 с.
7. Жежеленко И.В. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик тепловых нагрузок потребителей – М.: Высшая школа, 1998.- 438 с.
8. Колемаев В.А. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник – М.: ИНФРА-М, 1999.- 302 с.
9. Васильев О.В., Аргучинцев А.В. Методы оптимизации в задачах и упражнениях: Учебное пособие, 2000.- 312 с.

10. Гмурман В.В. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 2001.- 400 с.
11. Самарский А.А. и др. Математическое моделирование – новая методология научных исследований: Учебное пособие – М.: Издательство МЭИ, 1990.- 32 с.
12. Самарский А.А. Задачи и упражнения по численным методам.: Учебное пособие – М.: Издательство МЭИ, 2000.- 68 с.
13. Мжельский Б.И., Мжельская В.А. Математические модели задач оптимизации: Сборник задач – М.: Издательство МЭИ, 1998.- 64 с.
14. Гусейнов Ф.Г., Мамедяров О.С. Планирование эксперимента в задачах энергетики. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 151 с.
15. Турчак Л.И. Основы численных методов: Учебное пособие – М.: Наука, 1987.- 320 с.

3.2. Наглядные пособия

1. Лазерные пленки к проектоскопу;
2. Слайды на медиапроектор.

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 1.

Учебно-методическая карта дисциплины

№ недели	№ темы	Наименование вопросов изучаемых на лекции	Занятия (номера)	Используемые наглядные и методические пособия	Самостоятельная работа
			Практич. (семина.)		Содержание
1	2	3	4	5	6
1	1	Содержание вопросов изучаемых на лекции приведены в подразделе 2.2.		Слайд «Система теплоснабжения как объект математического исследования»	Различие между чистой и математикой; Построение математических моделей Правдоподобие и математическое...

2	2		Применение законов вероятностей сложных событий для решения теплоэнергетических задач.		Вывод теоремы о сложении событий, состоящих из трёх и более простых.
---	---	--	--	--	--

1	2	3	4	5	6
3	2				Доказательство общей теоремы повторении опытов. Теорема ги
4	3		Определение вероятности попадания случайной величины в заданный интервал при нормальном, равномерном и экспоненциальном законах распределения вероятностей.		
5	4			Слайд «Определение случайного процесса» Слайд «Случайные процессы изменения электрических нагрузок»	Определение показателей элементов схемы теплоснабжения ТЭС.
6	4		Экспериментальный анализ параметров режима работы тепловой электрической станции. Построение гистограмм.		
7	4				Теоремы о числовых характеристиках случайной величины. Коэффициент корреляции.
1	2	3	4	5	6

8	4		Определение числовых характеристик случайных величин. Применение критериев согласия. Построение доверительных интервалов. Определение расчетной тепловой нагрузки статистическим методом.		
9	5				
10	5		Анализ случайных процессов изменения параметров режима ТЭС.	Пленка «Определение закона распределения по виду гистограммы»	
11	6				
1	2	3	4	5	6
12	7		Определение показателей надёжности и ремонта элементов систем теплоснабжения и оборудования тепловой электрической станции. Определение ущерба от недоотпуска тепловой энергии при перерывах теплоснабжения.	Слайд «Схема обработки информации при управлении энергообъектами»	
13	8				Определение статистических функций плотности распределения случайных величин. Система случайных функций. Взаимная корреляционная функция.

14	9		Решение оптимизационных задач режимов тепловой электрической станции методами линейного программирования.		
15	9				Одно- и многопараметрическая оптимизация
1	2	3	4	5	6
16	9		Решение оптимизационных задач режимов тепловой электрической станции методами нелинейного программирования.		
17	10				
18	11		Обзор задач по всем темам за семестр.		

2. График самостоятельной работы студентов по дисциплине на каждый семестр с указанием ее содержания, объема в часах, сроков и форм контроля.

Таблица 2

№	Содержание	Объем в часах	Формы к
1	Различие между чистой и прикладной математикой	1	Блиц-опрос на пр занятиях
2	Построение математических моделей	1	Блиц-опрос на пр занятиях
3	Правдоподобие и математические ошибки	1	Блиц-опрос на пр занятиях
4	Вывод теоремы о сложении сложных событий, состоящих из трёх и более простых	1	Блиц-опрос на пр занятиях
5	Доказательство общей теоремы о повторении опытов	1	Блиц-опрос на пр занятиях
6	Теорема гипотез	1	Блиц-опрос на пр занятиях
7	Определение показателей надёжности элементов схемы теплоснабжения и оборудования ТЭС	1	Блиц-опрос на пр занятиях
8	Теоремы о числовых характеристиках случайной величины	1	Блиц-опрос на пр занятиях
9	Коэффициент корреляции	1	Блиц-опрос на пр занятиях
10	Определение статистических функций и плотности распределения случайных величин	1	Выступление с до лекции
11	Система случайных функций, взаимная корреляционная функция	1	Выступление с до лекции
12	Одно- и многопараметрическая оптимизация	1	Выступление с до лекции

3. Методические указания и рекомендации по проведению семинарских и практических занятий, самостоятельной работы студентов

Практические занятия проводятся для того, чтобы студент получил навыки в инженерном применении методов теории вероятностей и математической статистики при решении задач энергетики, а также для закрепления теоретического материала, изученного на лекциях.

Согласно учебному плану, предусмотрено девять практических занятий (табл. 3).

Таблица 3

Перечень практических занятий

№ п.п.	Наименование темы	Кол-во часов
1.	Применение законов вероятностей сложных событий для решения теплоэнергетических задач.	2
2.	Определение вероятности попадания случайной величины в заданный интервал при нормальном, равномерном и экспоненциальном законах распределения вероятностей.	2

3.	Экспериментальный анализ параметров режима работы тепловой электрической станции. Построение гистограмм.	2
4.	Определение числовых характеристик случайных величин. Применение критериев согласия. Построение доверительных интервалов. Определение расчетной тепловой нагрузки статистическим методом.	2
5.	Анализ случайных процессов изменения параметров режима ТЭС.	2
6.	Определение показателей надёжности и ремонта элементов систем теплоснабжения и оборудования тепловой электрической станции. Определение ущерба от недоотпуска тепловой энергии при перерывах теплоснабжения.	2
7.	Решение оптимизационных задач режимов тепловой электрической станции методами линейного программирования.	2
8.	Решение оптимизационных задач режимов тепловой электрической станции методами нелинейного программирования.	2
9.	Обзор задач по всем темам за семестр.	2

Практические занятия рекомендуется проводить согласно следующему плану:

1. цель занятия;
2. краткие теоретические сведения;
3. блиц-опрос студентов;
4. решение задач;
5. анализ качества выполнения домашних задач и разбор типовых ошибок;
6. выводы и обобщение результатов.
7. домашнее задание.

В результате проведения практических занятий студенты должны научиться:

- определять вероятность событий;
- применять теорему сложения и умножения вероятностей для независимых событий, формулу полной вероятности для зависимых событий в задачах теплоэнергетики;

- рассчитать числовые характеристики случайных величин, коэффициенты корреляции, определять вероятность попадания случайной величины в заданный интервал, максимальное значение параметров режима при заданной вероятности;
- строить гистограммы распределения случайных величин, определять оценки числовых характеристик (точечные и интервальные), аппроксимировать статистические распределения вероятностей известными теоретическими функциями, пользоваться критериями согласия;
- различать понятия числовых характеристик случайных величин и случайных функций, рассчитывать корреляционные функции, устанавливать стационарность и эргодичность случайных процессов, пользоваться спектральным разложением при исследовании процессов в теплоэнергетических системах;
- составлять целевую функцию и ограничения при одно- и многопараметрической оптимизации, приводить их к каноническому виду, пользоваться методами математического программирования в задачах теплоснабжения: симплексным методом, методом Лагранжа.

Вопросы для самостоятельной работы студентов

1. Различие между чистой и прикладной математикой;
2. Построение математических моделей;
3. Правдоподобие и математические ошибки;
4. Вывод теоремы о сложении сложных событий, состоящих из трёх и более простых;
5. Доказательство общей теоремы о повторении опытов;
6. Теорема гипотез;
7. Определение показателей надёжности элементов схемы теплоснабжения и оборудования ТЭС;
8. Теоремы о числовых характеристиках случайной величины;
9. Коэффициент корреляции;

10. Определение статистических функций и плотности распределения случайных величин;
11. Система случайных функций, взаимная корреляционная функция;
12. Одно- и многопараметрическая оптимизация.

4. Краткий конспект лекций

Тема 1. Введение

При исследовании сложных систем большое внимание уделяется изучению их поведения под воздействием разного рода различных возмущений. Поведение системы рассматривается во времени. Состояние является частным случаем поведения системы и фактически представляет его «временной срез». Поведение системы можно рассматривать как последовательную во времени смену ее состояний. Оно носит вероятностный характер, поскольку нельзя заранее точно предсказать то или иное состояние системы.

Все перечисленные особенности поведения систем целиком и полностью относятся и к тепловым электрическим станциям (ТЭС). В процессе своего функционирования она подвержена множеству малых и больших воздействий, возмущений различной природы.

Нагрузки, в том числе и тепловые, постоянно изменяются во времени. Эти изменения обусловлены технологическими особенностями потребителей электрической и тепловой энергий. Таким образом, нагрузки потребителей имеют случайный характер, причем эта случайность проявляется тем больше, чем более подробно рассматривается схема ЭЭС, ТЭС.

Для принятия решений при управлении функционированием ТЭС необходимо знать текущий режим, т.е. исходные данные, которые используются соответствующими алгоритмами. Эти данные получаются на основе измерений, которые всегда содержат погрешности, также являющиеся случайными величинами.

Сами методы расчета режима ТЭС, используемые для принятия решений, как правило, дают дополнительные погрешности, связанные с незавершенностью итеративных процедур получения решения, с погрешностью округления результатов счета на ЭВМ. Да и сам режим работы агрегатов, режим выработки и впуска энергоносителя в турбину практически не бывают неизменными и подвержены случайным возмущениям.

Любое явление, происходящее при функционировании ТЭС, носит элемент случайности. Таким образом, решение инженерных задач при анализе функционирования ТЭС лежит в области применения методов теории вероятностей и математической статистики.

Тема 2. Модель – случайное событие

Теорией вероятностей называется математическая наука, изучающая закономерности в случайных явлениях.

Случайное явление – это такое явление, которое при неоднократном воспроизведении одного и того же опыта (испытания, эксперимента) протекает каждый раз по-разному.

В системах теплоснабжения, электроснабжения – это процессы изменения переменных режима $I(t)$, $U(t)$, $P(t)$, $Q(t)$, происходящие во времени.

Примером опыта является фиксация по счетчикам активной электроэнергии через равные промежутки времени θ дискретных значений электрической нагрузки P в наиболее (наименее) загруженную смену промышленного предприятия в период летних (зимних) рабочих суток. Характеристикой результатов опыта являются события. Для количественной оценки появления событий и сравнения событий между собой в теории вероятностей вводятся следующие понятия.

1. ***Вероятность P*** - число, показывающее степень возможности появления какого-либо события A в результате опытов.

2. *Достоверное событие* – событие, которое в результате опытов обязательно появится. Вероятность появления такого события равна единице.
3. *Невозможное событие* – событие, которое в результате опытов никогда не появится. Вероятность появления такого события равна нулю.

Существует класс событий, где возможен непосредственный расчет их вероятностей. Эти опыты с симметричными и одинаково возможными исходами. События в таких опытах образуют полную группу событий, если в результате опыта должно появиться хотя бы одно из них.

Несколько событий называются *несовместными* в данном опыте, если никакие два из них не могут появиться вместе. Примером этого является отказ турбоагрегата и одновременно его безотказная работа в течение некоторого рассматриваемого промежутка времени.

Несколько событий называются *равновозможными*, если по условиям симметрии есть основание считать, что ни одно из этих событий не является объективно более возможным, чем другое.

Пример – отказ в работе любого турбоагрегата из группы однотипных, находящихся в одинаковых условиях эксплуатации, равновозможен.

Существуют группы событий, которые образуют полную группу событий, несовместны и равновозможны.

События, образующие такую группу, называют *случаями*.

Случай считается благоприятным для некоторого события, если его появление влечет за собой появление данного события.

Пример - в котельном отделении ТЭС имеется 6 однотипных котлов, находящихся в одинаковых условиях эксплуатации. Котлам присвоены номера от 1 до 6. Событию *A* - выходу из строя котла с четным номером – благоприятны три случая (отказы котлов с номерами 2, 4 и 6) и неблагоприятны остальные.

В таком опыте вероятность события A можно оценить по относительной доле благоприятных случаев, равной отношению числа благоприятных случаев к общему числу случаев:

$$P(A) = \frac{m}{n},$$

где $P(A)$ - вероятность события A , n - общее число случаев, m - число случаев, благоприятных событию A , $0 \leq P(A) \leq 1$.

В задачах теплоснабжения вместо невозможных и достоверных событий используются понятия практически невозможных и практически достоверных событий.

Практически достоверным событием называется событие, вероятность которого близка к единице. *Практически невозможным событием* называется событие, вероятность которого не в точности равна нулю, а весьма близка к нулю.

Эти события вводятся согласно *принципу практической уверенности*, который формулируется следующим образом: если вероятность события A в опыте весьма мала - $p(A) \leq P_x$, то можно быть практически уверенным в том, что при однократном воспроизведении опыта событие A не произойдет.

Вероятность P_x называется *граничной вероятностью* и ее значения задаются для каждой конкретной задачи в соответствии с принятым критерием оптимальности. Однако значения P_x могут задаваться из условий безопасности или надежности. Так, в задачах электроснабжения граничная вероятность P_x принимается часто равной 0,05. Поэтому практически невозможным событиям соответствует вероятность $p(A) \leq 0.05$, а практически достоверным событиям - $p(A) > 1 - P_x > 0.95$. Принцип практической уверенности является одним из основных принципов практического использования теории вероятностей.

Тема 3. Модель – случайная величина

Случайной величиной называется величина, которая в результате опыта может принять то или иное значение, причем неизвестно заранее, какое именно.

Различают случайные величины непрерывного и дискретного типа. Возможные значения дискретных величин могут быть заранее перечислены. Возможные значения непрерывных величин не могут быть заранее перечислены и непрерывно заполняют некоторый промежуток.

Пример.

Число отказавших элементов в приборе – дискретная случайная величина, а время безотказной работы прибора – непрерывная случайная величина.

Законом распределения случайной величины называется всякое соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями.

Формы задания законов распределения дискретных случайных величин:

1. Ряд распределения
2. Многоугольник распределения

Для непрерывной случайной величины существует распределение вероятностей, но не в том смысле, что для дискретной. Для этого используют вероятность события $X < x$, где x - некоторая текущая переменная. Вероятность этого события есть функция от x - *функция распределения* случайной величины $F(X)$ - $F(X) = P(X < x)$, которая носит название *интегрального закона распределения*.

Плотностью распределения вероятностей (ПРВ) непрерывной случайной величины X называют функцию $f(x)$ – первую производную от функции распределения $F(X)$, т.е $f(x) = F'(x)$.

Числовые характеристики случайных величин

Математическим ожиданием случайной величины называется сумма произведений всех возможных значений случайной величины на вероятности этих значений.

Рассмотрим дискретную случайную величину X , имеющую возможные

Дисперсией дискретной случайной величины называется математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины от ее математического ожидания.

Дисперсия случайной величины есть характеристика разбросанности значений случайной величины около ее математического ожидания.

Средним квадратическим отклонением случайной величины называется квадратный корень из дисперсии.

Пример.

Найти дисперсию напряжения U , зная закон распределения (табл.).

Таблица

Закон распределения значений напряжения

U , кВ	110	112	109	115
p	0.4	0.2	0.15	0.25

Решение

Найдем математическое ожидание, согласно (3.18):

$$m_U = 110 \cdot 0.4 + 112 \cdot 0.2 + 109 \cdot 0.15 + 115 \cdot 0.25 = 111.5.$$

Составим ряд распределения для квадрата напряжения (табл.).

Таблица

Ряд распределения для квадрата напряжения

U^2 , кВ ²	12100	12544	11881	13225
p	0.4	0.2	0.15	0.25

Найдем математическое ожидание квадрата напряжения

$$m_{U^2} = 12100 \cdot 0.4 + 12544 \cdot 0.2 + 11881 \cdot 0.15 + 13225 \cdot 0.25 = 12437.2.$$

С учетом выражения (3.22) получим значение дисперсии

$$D_x = 4.95.$$

Определение законов распределения вероятностей случайных величин на основе опытных данных

Вид распределения	Математическое ожидание	Дисперсия	СКО
Равномерное в (a,b)	$\frac{a + b}{2}$	$\frac{(b - a)^2}{12}$	$\frac{b - a}{2\sqrt{3}}$
Простейшее	0	1	1

нормальное			
Общее нормальное с параметрами a и σ	a	σ^2	σ
Биномиальное m	np	npq	\sqrt{npq}
$\frac{m}{n}$	p	$\frac{pq}{n}$	$\sqrt{\frac{pq}{n}}$
По Пуассону	λ	λ	$\sqrt{\lambda}$

Вероятность попадания случайных величин, подчиненных нормальному закону распределения, на заданный участок

Вероятность попадания случайной величины в интервал от α до β определяется как

$$P(\alpha < x < \beta) = \Phi\left(\frac{\beta - m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - m}{\sigma}\right).$$

Вероятность попадания в заданный интервал при показательном распределении случайной величины

Найдем вероятность попадания в интервал от a до b :

$$P(a < x < b) = F(b) - F(a).$$

$$F(a) = 1 - e^{-\lambda a},$$

$$F(b) = 1 - e^{-\lambda b}$$

Следовательно,

$$P(a < x < b) = -e^{-\lambda b} + e^{-\lambda a},$$

где e^{-x} - табличные данные.

Равномерный закон распределения

Заранее известно, что возможные значения непрерывной случайной величины лежат в пределах некоторого определенного интервала, и в этих пределах все значения случайной величины одинаково вероятны, т.е. обладают одной и той же плотностью вероятности.

Вероятность попадания случайной величины x , распределенной по закону равномерной плотности на интервале (a, b) , представляющей собой часть интервала (α, β) :

$$P(a < x < b) = \frac{b - a}{\beta - \alpha}.$$

Тема 4. Модель – случайный процесс

Задачей вероятностных и других методов математики при управлении режимами ЭЭС является преобразование исходной информации в форму, удобную для принятия практических решений, выбора математической модели параметров режима, электрических нагрузок и электропотребления при различных технологических потоках. Так, при оценке качества напряжения по интегральным критериям на основе информации о меняющейся нагрузке, когда последовательность и связь между ординатами несущественны, информация о последовательности значений играет первостепенную роль для выбора рационального закона регулирования напряжения.

В первом случае моделью может быть случайная величина или система случайных величин, во втором – случайный процесс. При расчете баланса мощности модель может быть представлена случайной величиной, при прогнозировании или определении перетоков мощности – случайным процессом.

Теория случайных процессов разработана фундаментальными трудами А.Н. Колмогорова, А.Я. Хинчина, Н. Винера и т.д. Книги В.И.Бунимовича, В.В. Солодовника (1952, 1960), Б.Р. Левина (1957, 1966, 1968), В.П. Лебедева (1958), Р.Л. Стратоновича (1961), В.И. Тихонова (1966, 1978), А.А. Свешникова (1968), А.М. Рытова (1976, 1978) и других создали мощный научный плацдарм для радиофизиков и энергетиков России.

Случайным процессом $\zeta_t(\omega)$ называется функция двух переменных $t \in T$, $\omega \in \Omega$, где Ω – пространство элементарных событий, T – некоторое множество. При этом каждому $\theta \in T$ соответствует случайная величина $\zeta_\theta(\omega)$. Иногда случайный процесс называется вероятностным, или стохастическим

процессом, а также случайной функцией $\varphi(t, \omega) = \zeta_t(\omega)$. Отметим, что при каждом значении аргумента $t = \theta$ величина $\varphi(\theta, \omega)$ является случайной.

Обычно аргумент t обозначает время. Если $T = \{0; \pm 1; \pm 2; \dots\}$, то $\zeta_t(\omega)$ называется случайной последовательностью (иначе – случайный процесс с дискретным временем). Если $T = (-\infty; \infty)$, тогда $\zeta_t(\omega)$ является случайным процессом с непрерывным временем [1,3].

При любом фиксированном $\theta \in T$ случайная величина $\zeta_\theta(\omega)$ называется *сечением* случайного процесса $\zeta_t(\omega)$ в точке θ .

При фиксированном $\gamma \in \Omega$ детерминированная функция $\varphi(t, \gamma) = x(t)$, определенная на T , называется *реализацией* случайного процесса $\zeta_t(\omega)$ или его выборочной функцией.

Процессы изменения активной P и реактивной Q мощностей, тока I или напряжения относятся к физическим явлениям, которые описываются функциями, имеющими в качестве аргумента время, т.е. случайными процессами. Изменение мощности $P(t)$ и $Q(t)$ или тока $I(t)$ называется графиком нагрузок. Значение производной в i -й момент времени есть сечение случайного процесса.

Средним значением (математическим ожиданием) случайного процесса $\{x(t), -\infty < t < \infty\}$, называется неслучайная функция

$$m_x(t) = E[X(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x,t)dx,$$

где $f(x,t)$ - плотность распределения вероятностей ординат случайного процесса $x(t)$.

Дисперсией случайного процесса $\{x(t)\}$ называется неслучайная функция

$$D_x(t) = \sigma_x^2(t) = E\{[x(t) - m_x(t)]^2\} = \int_{-\infty}^{\infty} [x - m_x(t)]^2 P(x,t)dx.$$

Дисперсии ординат, вычисленные для других моментов времени t_2, t_3, \dots, t_n , дают неслучайную функцию $D_x(t)$, называемую оценкой дисперсии

$\{x(t)\}$.

Характеристика, приведенная к размерности случайного процесса $\{x(t)\}$, называется стандартным, или среднеквадратическим отклонением случайного процесса и связана с дисперсией следующим соотношением:

$$\sigma_x(t) = \sqrt{D_x(t)} .$$

Взаимосвязь между ординатами реализаций случайного процесса в различные моменты времени определяется центральной смешанной моментной функцией второго порядка. Эта функция называется корреляционной и является двумерной средней вероятностной характеристикой случайного процесса $\{x(t)\}$, поскольку определяется для двух моментов времени.

Корреляционной функцией случайного процесса $\{x(t)\}$ называется неслучайная функция двух переменных:

$$R_x(t_1, t_2) = E[x(t_1)x(t_2)] = \int_{-t}^t \int_{-t}^t P(x_1, x_2; t_1, t_2) dx_1 dx_2 ;$$

$$x_1 = x(t_1) ; x_2 = x(t_2) .$$

Ковариационной функцией (КВФ) случайного процесса $\{x(t)\}$ называется функция двух переменных

$$K_x(t_1, t_2) = E\{[x(t_1) - m_x(t_1)][x(t_2) - m_x(t_2)]\} .$$

Как и для системы случайных величин, для случайного процесса вводится нормированная корреляционная функция (НКФ)

$$\rho_x(t_1, t_2) = \frac{K_x(t_1, t_2)}{\sigma_x(t_1)\sigma_x(t_2)} ,$$

где $-1 \leq \rho_x(t_1, t_2) \leq 1$.

При моделировании расчетных характеристик графиков электрической нагрузки рассматривается N исходных графиков $P_i(t)$, представляющих случайный процесс $\{P(t)\}$ изменения нагрузки и его вероятностные характеристики.

При этом функция распределения имеет вид:

$$E[P(t_1) \leq P_y] = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{N_y[P(t_1) \leq P_y]}{N},$$

где $N[P(t_1) \leq P_y]$ – число графиков нагрузки $P(t)$, значения ординат которых в момент времени t_1 не превышают заданного уровня $P_y(t)$; N – общее число графиков $P(t)$ нагрузки.

Плотность распределения определяется как

$$f(P, t_1) = F'(P, t_1) = \frac{dF(P, t_1)}{dP}.$$

Оценка статистической ковариационной функции

$$K(t_1, t_2) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [P_i(t_1) - P_{cp}(t_1)][P_i(t_2) - P_{cp}(t_2)],$$

которая связывает значения графиков $P_i(t)$ в моменты времени t_1 и $t_2 = t_1 + \tau$.

Нормированная корреляционная функция:

$$\rho(t_1, t_2) = \frac{K(t_1, t_2)}{DP(t_1)DP(t_2)},$$

которая определяет степень зависимости ординат случайного процесса, разделенных интервалом времени $\tau = t_2 - t_1$.

Наиболее распространенные способы задания корреляционных функций, используемые при моделировании электрических нагрузок промышленных установок, указаны в табл.

Таблица

Способы задания корреляционных функций

Коварелляционные функции	Авторы предлагаемых аппроксимаций
$K(\tau) = K(0) \exp(-\alpha \tau);$ $K(\tau) = K(0) \exp(-\alpha \tau) \cos \beta \tau;$ $K(\tau) = K(0) \exp(-\alpha \tau) (\cos \beta \tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta \tau);$	Жежеленко И. В. Степанов В. П. Быховская О. В. Токмак Е. В.
$K(\tau) = a \exp(-\alpha \tau) + b \exp(-\beta \tau);$	Никитин Б.К.
$K(\tau) = A_1 \exp(-\alpha_1 \tau) \cos \beta_1 \tau + A_2 \exp(-\alpha_2 \tau) \cos \beta_2 \tau;$	Михайлов О. П. Лебединский Б. П.

$$K(\tau) = A \exp(-\beta |\tau|) \cos \gamma \tau + C \exp(-\delta |\tau|) + \mu;$$

Денисенко Н. А.
Хоффман И.

В теории вероятностей случайные процессы делятся на две группы – стационарные и нестационарные (рис.).

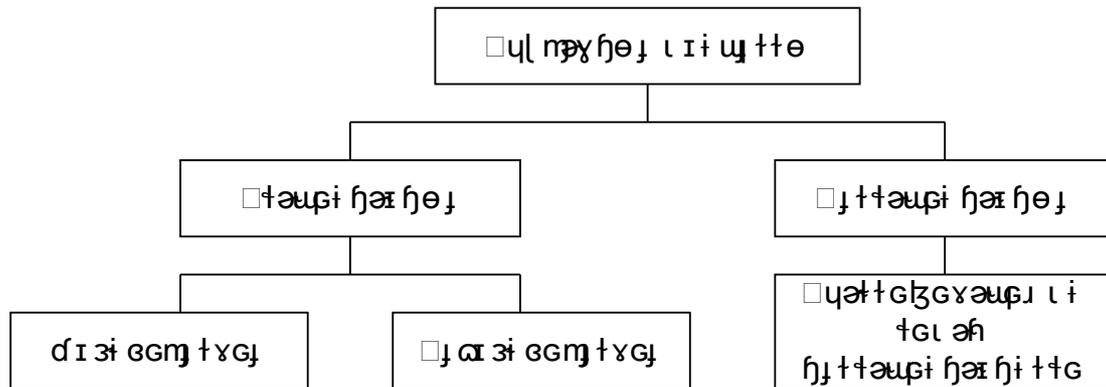


Рис. Классификация случайных процессов.

Исследования корреляционных функций нагрузок позволили выявить характерные признаки каждой группы.

Для вводных присоединений подстанций, основной уровень нагрузки которых в сезонный период и характер ее изменения мало меняются, характерен стационарный эргодический процесс.

Стационарный неэргодический процесс присущ для распределительным подстанциям, основной уровень нагрузки которых и характер ее изменения постоянны лишь при определенных условиях работы. Такой процесс характеризуется неодинаковостью плотностей распределения каждой реализации, вычисленных усреднением по времени (неэргодичность), но постоянством математического ожидания, вычисленного по времени (стационарность).

Нестационарные процессы наблюдаются у распределительных подстанций, основной уровень и характер изменений нагрузки которых зависят от условий работы и времени. Они характерны для распределительных подстанций, питающих электроприемники различных технологических

производств (нестационарность) и различных технологических цепочек в каждом производстве (неэргодичность), а также для распределительных подстанций, питающих синхронные машины с меняющимся током возбуждения.

Важное значение в теории электрических нагрузок имеют стационарные и эргодические случайные процессы.

К нестационарным относятся все процессы, не удовлетворяющие условиям стационарности. Если отсутствуют дополнительные ограничения, то свойства нестационарного случайного процесса обычно зависят от времени и могут быть установлены только путем усреднения в отдельные моменты времени по ансамблю выборочных функций, образующих процесс.

Во многих случаях нестационарные случайные процессы, отвечающие реальным физическим явлениям, имеют особенности, упрощают их анализ и измерение. Например, иногда случайные данные можно представить в виде случайного процесса $\{X(t)\}$, все выборочные функции которого имеют вид

$$X(t) = a(t)u(t),$$

где $u(t)$ - выборочная функция стационарного случайного процесса $\{u(t)\}$, $a(t)$ – детерминированная функция.

Случайный процесс с нормальной ПРВ называется *гауссовским*.

Одномерный нормальный закон распределения вероятностей представляют собой функцию вида

$$P(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}.$$

Гауссовский случайный процесс является одним из самых распространенных случайных процессов.

Большинство важнейших характеристик случайного процесса удается определить по аналогии со спектральным анализом детерминированных сигналов. Для этого используют преобразование Фурье от функций, полученных путем усреднения реализаций на конечном интервале времени T_x .

Во многих инженерных проблемах возникает задача о распределении потока случайных событий во времени.

Одним из простейших случайных процессов является последовательность событий, или поток случайных однородных событий, т.е. случайное чередование этих событий. Пример – Вызовы абонентов телефонных станций, нейтронные процессы.

Простейшим пуассоновским потоком однородных событий называется поток, обладающий тремя свойствами: стационарностью, отсутствием последствия и ординарностью.

Пуассоновский поток – частный случай потока Пальма, поскольку в нем расстояния $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, \dots$ представляют собой случайные величины, распределенные по одному и тому же показательному закону; их независимость следует из первого условия (отсутствие последствия), а расстояние по времени между любыми событиями не зависит от того, какие расстояния между ними.

На практике используются и другие модели потоков, в частности поток *Эрланга*, который образуется в результате «прореживания» простейшего потока. Например, если на оси времени в простейшем потоке сохранить каждую вторую точку, то образуется поток Эрланга второго порядка, если сохранить каждую k -ю точку, то получим поток Эрланга k -го порядка Y_k , для которого ПРВ интервала между событиями имеет вид

$$f_k(t) = \frac{\lambda (\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, t > 0.$$

Этот закон называется законом Эрланга k -го порядка.

Пример. Поток отказов сложного оборудования, машины, механизмов можно считать простейшим, если он складывается из большого числа независимых потоков отказов отдельных частей этого механизма (устройства), причем вероятность отказа каждой части мала.

Тема 5. Основные понятия и задачи математической статистики

Статистические исследования на уровне случайных величин. Задачи, решаемые с помощью математической статистики в теплоэнергетике. Закон больших чисел и следствия из него. Построение гистограммы. Точечные и интервальные оценки числовых характеристик. Критерии согласия. Экспериментальное определение параметров режима работы станции. Оценка точности измерений. Определение тепловой расчётной нагрузки статистическим методом (4 часа).

Тема 6. Метод наименьших квадратов

Пусть в результате измерений в процессе опыта получена таблица некоторой зависимости f :

x	x_1	x_2	...	x_n
$f(x)$	y_1	y_2	...	y_n

Нужно найти формулу, выражающую эту зависимость аналитически.

Задача ставится таким образом, чтобы с самого начала обязательно учитывался характер исходной функции:

Найти функцию заданного вида – $y = F(x)$, которая в точках x_1, x_2, \dots, x_n принимает значения как можно более близкие к табличным значениям y_1, y_2, \dots, y_n .

Практически вид приближающей функции $F(x)$ можно определить следующим образом. Согласно табличным значениям строится точечный график функции $f(x)$, а затем проводится плавная кривая, по возможности наилучшим образом, отражающая характер расположения точек (рис.).

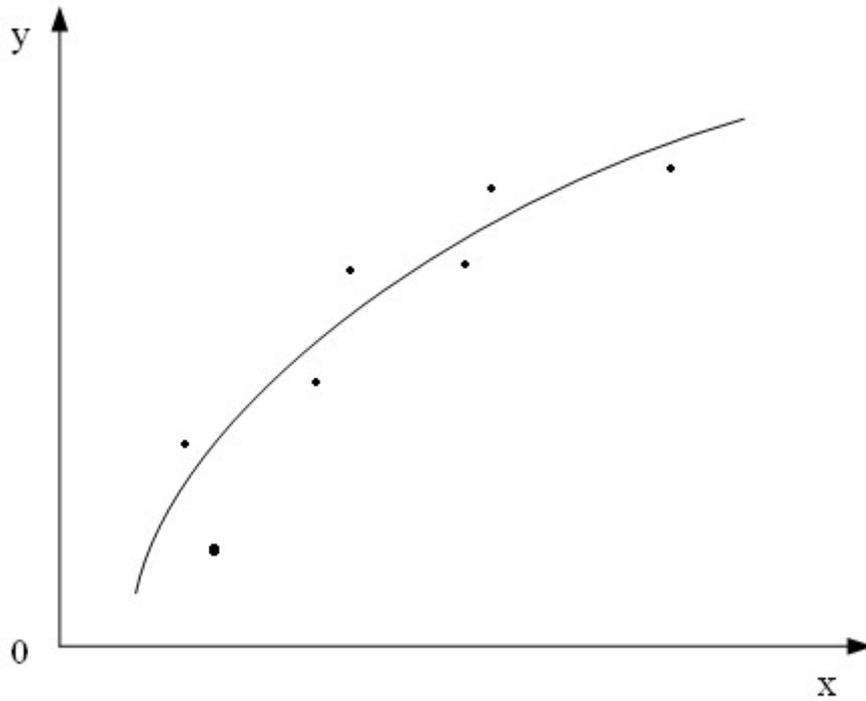


Рис.

По полученной таким образом кривой устанавливается вид приближающей функции (обычно из числа простых по виду аналитических функций).

Пусть приближающая функция $F(x)$ в точках x_1, x_2, \dots, x_n имеет значения $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_n$, которые рассматриваются как координаты двух точек n -мерного пространства.

С учетом этого, задача приближения функции может быть сформулирована следующим образом: найти такую функцию $F(x)$ заданного вида, чтобы расстояние между точками $M(y_1, y_2, \dots, y_n)$ и $\bar{M}(\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_n)$ было наименьшим.

Это равносильно следующему:

сумма квадратов

$$(y_1 - \bar{y}_1)^2 + (y_2 - \bar{y}_2)^2 + \dots + (y_n - \bar{y}_n)^2 \quad (*)$$

должна быть наименьшей.

Отсюда, задача приближения функции f формулируется следующим образом – для функции $f(x)$, заданной таблично, найти функцию $F(x)$ определенного вида так, чтобы, чтобы сумма квадратов (*) была наименьшей.

Данная задача носит название приближение функции методом наименьших квадратов.

Так, для нахождения приближающей функции с тремя параметрами

$$y = F(x, a, b, c)$$

имеем $F(x_i, a, b, c)$, $i = \overline{1, n}$.

Сумма квадратов разностей соответствующих значений функции $f(x)$ и $F(x)$ будет иметь вид

$$\sum_{i=1}^n [y_i - F(x_i, a, b, c)]^2 = \Phi(a, b, c).$$

Используем необходимое условие экстремума:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial b} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial c} = 0,$$

т.е.

$$\sum_{i=1}^n [y_i - F(x_i, a, b, c)] \cdot F'_a(x_i, a, b, c) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^n [y_i - F(x_i, a, b, c)] \cdot F'_b(x_i, a, b, c) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^n [y_i - F(x_i, a, b, c)] \cdot F'_c(x_i, a, b, c) = 0.$$

Решим эту систему уравнений с тремя неизвестными относительно параметров a, b, c , получим вид конкретной искомой функции $F(x_i, a, b, c)$.

Тема 7. Энтропия как мера неопределенности состояния ТЭС.

Энтропия и информация. Передача информации с искажениями

Любое сообщение, с которым имеют дело при автоматизированном управлении ТЭС, представляет собой совокупность сведений о ней. Например,

на вход АСУ производственным цехом может быть передано сообщение о химическом составе сырья или температуре в печи.

В качестве объекта, о котором передается сообщение, рассматривают как некоторую физическую систему X , которая случайным образом может оказаться в том или ином состоянии, т.е. систему, которой заведомо присуща какая-то степень неопределенности.

Рассмотрим некоторую систему X , которая может принимать конечное множество состояний: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ с вероятностями $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$, где $p_i = P(X : x_i)$ - вероятность того, что система X примет состояние x_i .

Очевидно, что $\sum_{i=1}^n p_i = 1$.

В качестве меры априорной неопределенности системы в теории информации применяется специальная характеристика, называемая энтропией.

Энтропией системы называется сумма произведений вероятностей различных состояний системы на логарифмы этих вероятностей, взятая с обратным знаком:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i.$$

Энтропия $H(X)$ обладает рядом свойств, оправдывающих ее выбор в качестве характеристики степени неопределенности. Во-первых, она обращается в нуль, когда одно из состояний системы достоверно, а другие – невозможны. Во-вторых, при заданном числе состояний она обращается в максимум, когда эти состояния равновероятны, а при увеличении числа состояний – увеличивается. Кроме этого, энтропия обладает свойством аддитивности, т.е. когда несколько независимых систем объединяются в одну, их энтропии складываются.

Тема 8. Анализ информации при различных режимах работы и эксплуатации ТЭС. Прогнозирование и выбор расчетных ТЭП.

Методы прогнозирования нагрузок.

Современные энергетические системы функционируют в условиях неопределенности. Это связано с ошибками наблюдения; недостатком информации, необходимой для оценки ситуации и принятием решений; неполнотой и некорректностью данных; случайностью событий.

При оперативном управлении, контроле за перегрузкой оборудования используемая информация является неоднородной и неполной. Кроме этого информация о нагрузках узлов является неопределенной при расчете потерь электроэнергии в распределительных сетях.

В решении проблемы неопределенности выделены два направления. К первому относятся работы, в которых решается задача сбора и обработки информации, уменьшающей неопределенность системы. Работы второго направления посвящены созданию моделей и методов, обеспечивающих использование всех форм неполной информации с целью максимального ее использования для выбора рациональных решений при АСУ ЭЭС, ТЭС.

Информация, используемая в АСУ ЭЭС, разделена на 4 группы: детерминированная, вероятностно-определенная, нечетко-определенная, неопределенная.

Детерминированная информация связана с тем, что численно однозначно задаются виды оборудования, его состав, номинальные параметры.

Вероятностно-определенная информация отражает случайный характер параметров и получается на основе обработки статистических выборок.

В тех случаях, когда достаточное количество выборок отсутствует по причине объективной неопределенности будущих условий развития или функционирования, информация носит нечетко определенный характер.

Неопределенная информация возникает при полной неопределенности или когда известен предполагаемый диапазон измерений.

Особенно при планировании и прогнозировании потерь ЭЭ в распределительных электрических сетях, режимные параметры в большей степени обладают свойствами неопределенности. Для случая неопределенности не разработаны методы решения задач и они сводятся или к вероятностно-определенной, или к нечетко-определенной постановке.

В основе вероятностно-определенного подхода лежат стохастические и регрессионные модели ЭЭС.

При нечетко-определенной информации положены два подхода [67]. Первый использует явную форму выражения функции принадлежности зависимых переменных через функцию принадлежности независимых переменных. Второй – неявную, когда функция принадлежности зависимых переменных определяется в результате выполнения последовательности бинарных арифметических операций над нечеткими переменными.

Выделяются следующие требования к методам прогнозирования информационных потоков о режиме работы и эксплуатации ТЭС и их программной реализации:

1. Несмещенность – математическое ожидание ошибок прогноза должно быть равно нулю;

2. Состоятельность – дисперсия ошибки прогноза должна быть как можно меньше;

3. Автоковариационная функция модели должна быть близка к δ -функции;

4. Модель должна быть адаптивной, т.е. значения параметров модели должны корректироваться при накоплении рассогласования между прогнозными и действительными значениями прогнозируемых величин.

5. Модель должна быть рекуррентной, т.е.

$$\bar{a}(t) = \bar{a}(t-1) + \varphi(x_{действ}(t) - x_{прог}(t)),$$

- коррекция оценок параметров модели $\bar{a}(t)$ не должна требовать пересчета предшествующих значений этих параметров.

Следует отметить, что не существует единого универсального метода прогнозирования в равной степени эффективного для всех временных уровней.

Для стационарных процессов при большой размерности исходной реализации описание нагрузок с помощью гармонических составляющих идентично разложению Карунена-Лозва. Аналогично, метод фильтра Калмана, экспоненциальное сглаживание и метод авторегрессии могут быть сведены для одномерных процессов один к другому. С точки зрения простоты реализации и времени счета на первое место следует поставить метод экспоненциального сглаживания, затем – фильтр Калмана и модели авторегрессии. Перечисленные методы целесообразно использовать при обработке нестационарных последовательностей.

Модели ряда Фурье:

$$P(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{12} a_k \cos \omega_0 kt + \sum_{k=1}^{12} b_k \sin \omega_0 kt,$$

где $\omega_0 = 2\pi / 24$, $k = 1, \dots, 12$.

Область применения модели – внутрисуточное прогнозирование часовых значений нагрузки. Задавая дробные значения времени упреждения t , можно получать и значения нагрузок в период между целыми часами.

Метод экспоненциального сглаживания:

Процесс изменения нагрузки представлен в виде полинома

$$P(t + \tau) = a_0(t) + a_1(t)\tau + a_2(t)\tau^2 + \dots,$$

где t - текущий момент времени, τ - время упреждения.

Оценки коэффициентов полинома $\bar{a}_i(t)$ получают методом наименьших квадратов с ведение весовых коэффициентов, уменьшающих по экспоненте по мере удаления от текущего момента значимость прошлой информации

$$\min_{a_0, a_1, a_2} \sum_{t=0}^T \left[P(t) - \sum_{i=0}^s a_i(t) \right]^2 e^{-\alpha(T-t)},$$

где $t = 0$ - начало рассматриваемой выборки, T - конец выборки, соответствующий текущему моменту времени.

Метод позволяет корректировать по рекуррентным выражениям коэффициенты полинома по мере выявления расхождения между прогнозами и реальными значениями нагрузок. Одна из проблем метода – выбор коэффициентов забывания α , которая решается для каждого узла нагрузок. Чем более устойчив график изменения нагрузок, тем меньше α .

Фильтр Калмана:

В этом методе используется марковская модель, в которой текущее значение параметра является функцией предыдущего значения

$$x(t) = A_{t_0,t-1}x(t-1) + \xi_x,$$

где в вектор x могут входить как нагрузка узла, так и ее первые, вторые и другие производные или первые, вторые и другие разности. Коэффициенты $A_{t_0,t-1}$ могут зависеть от времени. Если в текущий момент времени получены измерения $P(t)$ с ошибкой ξ_p , то они рассматриваются совместно с прогнозами в одном критерии взвешенного метода наименьших квадратов, где весами выступают величины, обратные ковариационным матрицам ошибок прогнозов и ошибок измерений. В результате оценки $\bar{x}(t)$ в текущий момент времени получаются как

$$\bar{x}(t) = A\bar{x}(t-1) + \frac{M_t H^T}{\sigma_u^2} [P(t) - H\bar{x}(t-1)],$$

где H - матрица модели измерений, имеющая вид $H = (1;0;0)$, так как измеряются только значения нагрузки, но не ее производных; σ_u^2 - дисперсия ошибки измерения ξ_p ; M_t - ковариационная матрица ошибок оценок вектора $\bar{x}(t)$, получаемая по рекуррентному соотношению,

$$M_t = A Q A^T + M_{t-1} - \frac{M_{t-1} H^T M_{t-1}}{H^T M_{t-1} H + \sigma_u^2}.$$

Эта матрица дает оценку точности прогноза.

Возможно сочетания периодических моделей и фильтра Калмана, когда фильтр Калмана корректирует коэффициенты моделей Фурье, рассматривая их как случайные величины.

Распознавание образов для оперативного прогнозирования использует корреляцию между формой графика нагрузки и текущей ситуацией в ЭЭС, ТЭС. Совокупность возможных графиков нагрузки разделяется на классы таким образом, чтобы в пределах одного класса графики были близки, а графики разных классов заметно отличались бы один от другого. По нескольким текущим точкам изменения нагрузки определяется класс графиков, к которому можно отнести текущее изменение нагрузки, а затем, используя характерный график этого класса, спрогнозировать нагрузку на предстоящие моменты времени.

Также существуют другие методы прогнозирования электрических и тепловых нагрузок, учитывающие информацию о корреляционных соотношениях между нагрузками отдельных узлов, метеофакторы, специальные подходы к прогнозированию экстремальных значений нагрузок.

Для повышения точности описанных моделей необходим учет качества используемой информации. Критерий качества при моделировании нагрузок случайными процессами позволит выбрать наиболее адаптивный к различным возмущающим факторам математический метод представления информации.

Тема 9. Постановка задачи оптимизации систем теплоснабжения и режимов работы тепловой электрической станции.

Оптимизация – это совокупность действий, направленных на установление наивыгоднейшего варианта функционирования систем теплоснабжения. Наивыгоднейшем считается вариант, соответствующий экстремальному значению критерия оптимальности при выполнении ограничений, накладываемых на оптимизируемые параметры.

Критерий оптимальности – это объективный показатель, позволяющий сравнивать рассматриваемые варианты решения задачи между собой. Для

отыскания экстремального значения его представляют в виде соответствующей функции от параметров оптимизации. Такая функция называется целевой. В качестве оптимизируемых параметров принимаются параметры режима или схемы теплоснабжения. Как правило, на оптимизируемые параметры накладываются ограничения, определяемые техническими условиями решения задачи.

Энергетические предприятия имеют следующие особенности:

- они не только производят продукцию, но и осуществляют ее транспорт (передачу) и распределение. Электроэнергию вырабатывают электрические станции. Передача и распределение электрической энергии осуществляется предприятиями электрических сетей. Тепло производят на ТЭЦ и в котельных, а передачу и распределение его – предприятия электрических сетей;
- процесс производства представляет собой непрерывную цепь превращения энергии.

Процесс производства, передачи и распределения и потребления энергии протекает практически одновременно и непрерывно. Непрерывность процесса производства энергии, в свою очередь, приводит к следующим отличиям:

- имеется абсолютная соразмерность производства и потребления энергии;
- отсутствует проблема сбыта, из-за чего невозможно затоваривание;
- исключено бракование продукции и изъятие ее из потребления;
- нет надобности складировать продукцию, так как все, что производится, потребляется в тот же момент.

Невозможность бракования продукции и изъятие ее из потребления возлагает на энергетические предприятия особую ответственность за постоянное качество энергии, т.е. поддержание в заданных пределах ее параметров, основными характеристиками которого являются:

- для электрической энергии – напряжение и частота;
- тепловой энергии – давление и температура пара.

Указанные особенности обуславливают необходимость обеспечения достаточно высокого уровня работы энергетических предприятий для

выполнения главной задачи – бесперебойности энергоснабжения потребителей. Перебои в энергоснабжении наносят предприятиям и в целом народному хозяйству большой ущерб: приводят к нарушению нормальной работы потребителей, порче оборудования и сырья, снижению планируемых объемов продукции и соответственно к убыткам.

Так, энергетические характеристики оборудования отображают зависимость между входными, выходными параметрами и потерями.

Существует три вида характеристик: абсолютные (расходные), относительные и дифференциальные.

Абсолютные характеристики отображают зависимость между количеством энергии, подводимой к агрегату (первичной), и получаемой от него (вторичной). Они используются для определения абсолютных значений расхода топлива и необходимой производственной мощности (соответствия производственной мощности котла и турбины).

Относительные характеристики используют для расчета первичной энергии при заданных нагрузках. К ним относятся удельные расходы топлива и теплоты, характеризующие экономичность работы оборудования, а также коэффициента полезного действия (КПД).

Дифференциальные характеристики применяют для определения оптимальных режимов работы агрегатов.

Энергетические характеристики котлов

Расходная характеристика парогенератора – это зависимость часового расхода топлива котлом от его полезной часовой тепловой нагрузки:

$$B = f(Q_{ч.к.}).$$

Расходные характеристики паровых котлов строятся на основе их тепловых балансов. Тепловой баланс может быть представлен в следующем виде:

$$Q_{ч.к.} = Q + \Delta Q,$$

где Q - полезное используемое тепло;

$$\Delta Q = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \Delta Q_4 + \Delta Q_5,$$

где ΔQ_1 - потери тепла с уходящими газами; ΔQ_2 - потери от химической неполноты сгорания; ΔQ_3 - потери от механической неполноты сгорания; ΔQ_4 - потери в окружающую среду; ΔQ_5 - потери с физической теплотой шлаков.

Зависимость отдельных видов потерь от полезной нагрузки устанавливается на основе испытаний парового котла и строится в пределах от минимальной нагрузки до максимальной (рис.).

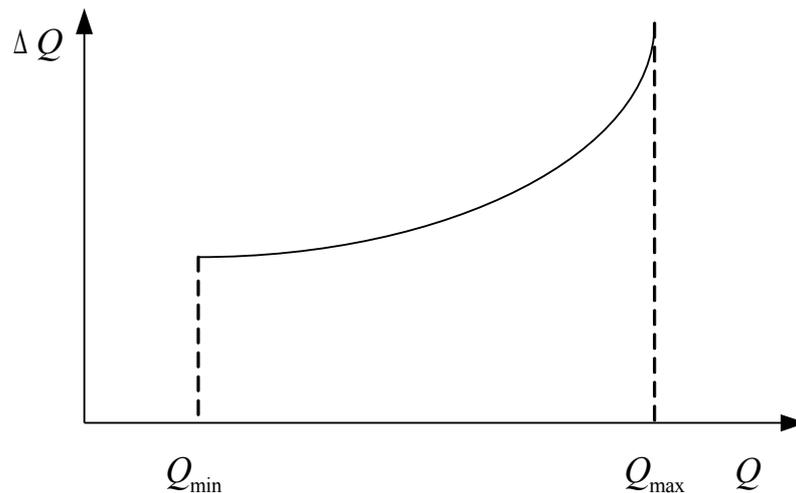


Рис. Зависимость отдельных видов потерь от полезной нагрузки.

Минимальная нагрузка – это наименьшая нагрузка, с которой котел может работать в течение длительного периода времени без нарушения циркуляции ли процесса горения.

Максимальная нагрузка – это наибольшая нагрузка, при которой котел может длительно работать без вредных последствий.

Характеристика относительных приростов расхода топлива котлов отображает изменение часового расхода топлива при увеличении тепловой нагрузки на 1 ГДж/ч:

$$r_k = \frac{\partial B}{\partial Q}.$$

На основе характеристик для отдельных котлов строятся одноименные характеристики для котельной применительно к одновременно находящимся в работе котлам в данный период времени и оптимальному распределению тепловой нагрузки котельной между ними. Распределение нагрузки между совместно работающими агрегатами будет наиболее выгодным, когда

выполнение данного общего графика нагрузки требует наименьшего количества первичной энергии. Тепловые нагрузки котлов, соответствующие этим условиям, будут совпадать, если в рассматриваемый период времени все работающие котлы данной котельной используют одинаковое топливо. Для достижения этих критериев необходимо, чтобы в каждый момент времени обеспечивалось равенство относительных приростов расхода топлива или относительных приростов стоимости топлива: $r_{k1} = r_{k2} = \dots = r_{ki}$.

Для построения характеристик относительных приростов котельной суммирование нагрузки отдельных котлов следует производить при одинаковых значениях относительных приростов расхода топлива (для достижения минимума расхода топлива котельной) или одинаковых значениях относительных приростов стоимости топлива (для достижения минимума себестоимости производства теплоты).

По тепловым нагрузкам отдельных котлов, соответствующим данному значению относительного прироста расхода топлива, из энергетических характеристик находят соответствующие им расходы топлива. Суммированием этих величин, получают расход топлива котельной при тепловой нагрузке, равной сумме тепловых нагрузок отдельных котлов:

$$B_{\min} = B_{\min 1} + B_{\min 2};$$

$$B_{\max} = B_{\max 1} + B_{\max 2}.$$

*Наивыгоднейшее распределение нагрузки с учетом потерь
активной мощности в сети*

Пусть тепловая энергосистема представляется в виде концентрированной, в которой все станции работают на одну общую нагрузку, сеть радиальная, напряжения в узлах станций известны и постоянны, распределение активных нагрузок не влияет на распределение реактивных. Задача заключается в том, чтобы найти условия наивыгоднейшего распределения нагрузки между ТЭС с учетом потерь активной мощности в сети.

Система имеет $i = 1, 2, \dots, n$ тепловых электростанций, для которых известны расходные характеристики $B_i(P_{Ti})$ и суммарная нагрузка P_H . В этом случае:

1. Уравнение цели

$$B = B_1(P_{T1}) + B_2(P_{T2}) + \dots + B_n(P_{Tn}) \rightarrow \min.$$

2. Уравнение связи $B_i(P_{Ti})$.

3. Ограничения – балансовые уравнения мощности

$$\sum_i P_{TiH} - P - \pi = 0,$$

где π - суммарные потери активной мощности.

4. Уравнение оптимизации – функция Лагранжа.

$$L = (B_1 + B_2 + \dots + B_n) + \lambda (\sum_i P_{TiH} - P - \pi) = 0.$$

Дифференцируя функцию Лагранжа по переменным $P_{T1}, P_{T2}, \dots, P_{Tn}$ и приравнявая производные нулю, получим условия наивыгоднейшего распределения нагрузки:

$$\mu = \frac{b_i}{1 - \sigma_i} = idem,$$

где $b_i = \frac{\partial B_i}{\partial P_{Ti}}$ - относительный прирост расхода топлива электростанций,

который показывает, как изменится расход топлива i -й станции, если ее

нагрузка изменится на величину ∂P_{Ti} ; $\sigma_i = \frac{\partial \pi}{\partial P_{Ti}}$ - относительный прирост потерь

активной мощности в сетях, т.е. величина, показывающая, насколько изменятся

потери в сетях, если мощность только i -й станции изменится на ∂P_{Ti} .

Тема 10. Применение методов линейного программирования к решению оптимизационных задач в теплоэнергетике.

Определение основных понятий математического программирования.

Классификация методов оптимизации. Формулировка задачи линейного

программирования. Геометрическая интерпретация линейного программирования. Алгебраические преобразования линейных оптимизационных моделей. Применение методов линейного программирования для решения задач теплоэнергетики.

Задачи отыскания значений параметров, обеспечивающих экстремум функции при наличии ограничений, наложенных на аргументы, носят общее название – *задачи математического программирования*. Среди них самыми простыми являются так называемые задачи линейного программирования, для которых характерно следующее:

- показатель эффективности линейно зависит от элементов решения;
- ограничения, налагаемые на элементы решения, имеют вид линейных равенств или неравенств.

Такие задачи часто встречаются на практике, например, при решении проблем, связанных с распределением топливных ресурсов, планированием производства тепловой энергии и т.д.

Приведем пример задачи линейного программирования – задачи о снабжении сырьем.

Имеются три промышленных предприятия: $П_1, П_2, П_3$, требующих снабжения определенным видом сырья. Потребности в сырье каждого предприятия равны соответственно a_1, a_2, a_3 единиц. Имеются пять сырьевых баз, расположенных от предприятий на каких-то расстояниях и связанных с ними путями сообщения с разными тарифами. Единица сырья, получаемая предприятием $П_i$ с базы $Б_j$, обходится предприятию в c_{ij} рублей.

Возможности снабжения сырьем с каждой базы ограничены ее производственной мощностью: базы $Б_1, Б_2, Б_3, Б_4, Б_5$ могут дать не более b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 единиц сырья. Требуется составить такой план снабжения сырьем, чтобы потребности предприятий были обеспечены при минимальных расходах на сырье.

Поставим задачу линейного программирования. Обозначим x_{ij} количество сырья, получаемое i -м предприятием с j -й базы. Всего план будет состоять из 15 элементов решения:

$$\begin{aligned} x_{11}x_{12}x_{13}x_{14}x_{15}, & \text{ } b \\ x_{21}x_{22}x_{23}x_{24}x_{25}, & \text{ } \vartheta \\ x_{31}x_{32}x_{33}x_{34}x_{35}, & \text{ } \vartheta \end{aligned}$$

Таблица

Предприятие	База				
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
P_1	c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{14}	c_{15}
P_2	c_{21}	c_{22}	c_{23}	c_{24}	c_{25}
P_3	c_{31}	c_{32}	c_{33}	c_{34}	c_{35}

Введем ограничения по потребностям, состоящие в том, что каждое предприятие получит нужное ему количество сырья:

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} &= a_1, \text{ } b \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} &= a_2, \text{ } \vartheta \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} &= a_3, \text{ } \vartheta \end{aligned}$$

Напишем ограничения неравенства, вытекающие из производственных мощностей баз:

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{21} + x_{31} &\leq b_1, \text{ } b \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} &\leq b_2, \text{ } \vartheta \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} &\leq b_3, \text{ } \vartheta \\ x_{14} + x_{24} + x_{34} &\leq b_4, \text{ } \vartheta \\ x_{15} + x_{25} + x_{35} &\leq b_5, \text{ } \vartheta \end{aligned}$$

Запишем суммарные расходы на сырье, которые необходимо минимизировать. С учетом табличных данных, получим:

$$L = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min.$$

Появилась снова задача линейного программирования: найти такие неотрицательные значения переменных x_{ij} , которые удовлетворяли бы ограничениям-равенствам и ограничениям-неравенствам, а также обращали бы в минимум линейную функцию L .

Тема 11. Применение методов нелинейного программирования к решению оптимизационных задач в теплоэнергетике.

Общая постановка задачи нелинейного программирования следующая. Найти неотрицательные значения переменных x_1, x_2, \dots, x_n , удовлетворяющие каким-то ограничениям произвольного вида, например:

$$\begin{aligned} \varphi_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq 0 \\ \varphi_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq 0 \\ &\vdots \\ \varphi_m(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq 0 \end{aligned}$$

и обращаются в максимум произвольную нелинейную функцию этих переменных:

$$W = W(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max.$$

Общих способов решения задачи нелинейного программирования не существует; в каждой конкретной задаче способ выбирается в зависимости от вида функции W и накладываемых на элементы решения ограничений.

Задачи нелинейного программирования на практике возникают довольно часто, например, когда затраты растут не пропорционально количеству закупленных или произведенных видов энергий, но многие нелинейные задачи могут быть приближенно заменены линейными (линеаризованы), по крайней мере в области, близкой к оптимальному решению. В ряде случаев при решении задач нелинейного программирования может быть с успехом применен так называемый «метод штрафных функций», сводящий задачу поиска экстремума при наличии ограничений к аналогичной задаче при отсутствии ограничений, которая обычно решается проще.

Идея метода состоит в том, что вместо того, чтобы наложить на решение жесткое требование вида $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0$, можно наложить некоторый достаточно большой «штраф» за нарушение этого условия и добавить к целевой функции $W(x_1, x_2, \dots, x_n)$ штраф вида $a\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где a - коэффициент пропорциональности. Далее можно, увеличивая абсолютное значение a , посмотреть, как изменяется при этом оптимальное решение $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, и, когда оно уже практически перестает меняться, остановиться на нем. В ряде случаев при решении задач нелинейного программирования оказываются полезными «методы случайного поиска», состоящие в том, что вместо упорядоченного перебора возможных вариантов применяется случайный розыгрыш.

5. Методические указания по выполнению домашних заданий.

Выполнение домашних заданий и контрольных работ предусматривает использование теоретического материала, изученного на лекции, применение знаний, умений и навыков, полученных на практических занятиях.

6. Перечень программных продуктов, реально используемых в практике деятельности выпускников.

При изучении данной дисциплины используются следующие программные продукты – MathCAD, MATLAB.

7. Методические указания по применению современных информационных технологий для преподавания учебной дисциплины.

1. Презентации, слайды;
2. Схемы, таблицы, рисунки под медиапроектор;
3. Лазерные пленки к проектоскопу;

8. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов.

При изучении дисциплины предусматриваются следующие виды промежуточного контроля знаний студентов:

- опрос студентов на каждой лекции;
- проведение коллоквиумов по лекционному материалу.

К промежуточным формам контроля знаний относятся:

- блиц-опрос на лекциях по пройденному материалу;
- контрольные работы;
- написание рефератов с последующей их защитой.

9. Контрольные вопросы к зачету.

1. Система теплоснабжения как объект математического исследования.
2. Случайные явления и процессы в теплоэнергетике.
3. Случайные события, классификация случайных событий. Примеры случайных событий в теплоэнергетике.
4. Основные понятия теории надёжности.
5. Применение основных теорем теории вероятностей для определения показателей надёжности схем теплоснабжения и оборудования теплоэлектростанций.
6. Определение и виды ущербов от перерывов в теплоснабжении.
7. Случайные величины в теплоэнергетике.
8. Законы распределения вероятностей случайных величин, применяемые в теплоэнергетике.
9. Определение вероятности попадания случайной величины в заданный интервал.
10. Системы случайных величин и их характеристики, коэффициент корреляции.
11. Определение случайного процесса.

12. Характеристики случайных процессов, их экспериментальное определение.
13. Авто- и взаимно корреляционные функции.
14. Стационарные и нестационарные случайные процессы. Эргодическое свойство стационарных случайных процессов.
15. Спектральное разложение случайного процесса, спектральная плотность.
16. Процессы в системах теплоснабжения как случайные функции времени.
17. Расчёт тепловых нагрузок при представлении их случайным процессом.
18. Применение теории вероятностей при анализе качества тепловой энергии.
19. Задачи, решаемые с помощью математической статистики в теплоэнергетике.
20. Точечные и интервальные оценки числовых характеристик.
21. Построение гистограммы.
22. Экспериментальное определение параметров режима работы станции.
23. Оценка точности измерений.
24. Определение тепловой расчётной нагрузки статистическим методом.
25. Линейные модели регрессий.
26. Оценка параметров регрессии.
27. Прогнозирование тепловых нагрузок на основе регрессионных моделей.
28. Энтропия как мера неопределенности состояния ТЭС.
29. Анализ информации при различных режимах работы и эксплуатации ТЭС.
30. Прогнозирование и выбор расчетных ТЭП.
31. Оптимизация систем теплоснабжения и режимов работы тепловой электрической станции.
32. Задачи теплоснабжения и режимы работы тепловой станции, требующие поиска оптимальных решений.
33. Математическая модель оптимизации, выбор критериев оптимизации и ограничений.

34. Основные экономические показатели работы станции и системы теплоснабжения.

35. Определение основных понятий математического программирования.

36. Формулировка задачи линейного программирования.

37. Применение методов линейного программирования для решения задач теплоэнергетики.

38. Формулировка задачи нелинейного программирования.

39. Применение методов нелинейного программирования к решению оптимизационных задач в теплоэнергетике.

10. Карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава.

Таблица

Карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава

Вид учебной нагрузки	ППС
Лекции	Гурина Л.А., доц., канд. техн. наук
Практические занятия	Гурина Л.А.
Зачет	Гурина Л.А.