

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра системного анализа и управления

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ
С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов бакалавриата направления 27.03.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

УДК 519.7/8 (073)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ: Методические указания к самостоятельной работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *Ю.В. Ильюшин, О.В. Афанасьева*. СПб, 2020. 17 с.

Содержатся краткие теоретические сведения и задания для выполнения самостоятельной работы по учебной дисциплине «Математическое моделирование систем с распределенными параметрами». Дана общая характеристика самостоятельной работы при изучении дисциплины «Математическое моделирование систем с распределенными параметрами», приведены контрольные точки и виды отчетности по ним, рекомендации по изучению теоретического материала.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 27.03.04 «Управление в технических системах».

Научный редактор проф. *Д.А. Первухин*

Рецензент д-р техн. наук *С.В. Колесниченко* (ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2020

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

***Методические указания к самостоятельной работе
для студентов бакалавриата направления 27.03.04***

Сост.: *Ю.В. Ильюшин, О.В. Афанасьева*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
системного анализа и управления

Ответственный за выпуск *Ю.В. Ильюшин*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 27.05.2020. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 0,8. Усл.кр.-отт. 0,8. Уч.-изд.л. 0,6. Тираж 50 экз. Заказ 310. С 34.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

ВВЕДЕНИЕ

Целью преподавания дисциплины «Математическое моделирование систем с распределенными параметрами» является подготовка высококвалифицированного специалиста, глубоко знающего основы теории автоматического управления и умеющего выполнять исследовательские и расчетные работы по исследованию и синтезу систем с распределенными параметрами.

Самостоятельная работа студента (СРС) наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной его частью. СРС – это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

СРС предназначена не только для овладения каждой дисциплиной, но и для формирования навыков самостоятельной работы вообще, в учебной, научной, профессиональной деятельности, способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решить проблему, находить конструктивные решения.

1 Общая характеристика самостоятельной работы при изучении дисциплины

Самостоятельная работа обучающихся направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

Самостоятельная работа предусматривает следующие виды:

- самостоятельное изучение литературы по темам, вынесенным на самостоятельную работу;
- подготовка к практическим работам (решению разноуровневых задач);
- подготовка к лабораторным работам.

Цель самостоятельной работы:

1. углублять и расширять их профессиональные знания;
2. формировать у них интерес к учебно-познавательной деятельности;
3. научить студентов овладевать приемами процесса познания.

Задачи самостоятельной работы:

1. развивать у студентов самостоятельность, активность, ответственность;
2. развивать познавательные способности будущих специалистов.

2 Контрольные точки и виды отчетности по ним

Контрольные точки и виды отчетности по ним приведены в табл.1.

Таблица 1

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Кол-во баллов
1	2	3	4
1.	Сдача отчета по практической работе 1	3-ая неделя	5
2.	Сдача отчета по лабораторной работе 1	4-ая неделя	5
3.	Сдача отчета по практической работе 2	5-ая неделя	5
4.	Сдача отчета по лабораторной работе 2	5-ая неделя	5
5.	Сдача отчета по практической работе 3	7-ая неделя	5
6.	Сдача отчета по лабораторной работе 3	6-ая неделя	5
7.	Сдача отчета по практической работе 4	9-ая неделя	5
8.	Сдача отчета по лабораторной работе 4	10-ая неделя	5
9.	Сдача отчета по практической работе 5	11-ая неделя	5
10.	Сдача отчета по лабораторной работе 5	12-ая неделя	5
11.	Сдача отчета по лабораторной работе 6	13-ая неделя	5
12.	Сдача отчета по лабораторной работе 7	14-ая неделя	5
	Итого за семестр		60
	Итого		60

3 Методические указания по изучению теоретического материала

3.1 Вид самостоятельной работы: самостоятельное изучение литературы

Изучать учебную дисциплину рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них в программе дисциплины. При теоретическом изучении дисциплины студент должен пользоваться соответствующей литературой. Примерный перечень литературы приведен в рабочей программе.

Для более полного освоения учебного материала студентам читаются лекции по важнейшим разделам и темам учебной дисциплины. На лекциях излагаются и детально рассматриваются наиболее важные вопросы, составляющие теоретический и практический фундамент дисциплины. В процессе изучения учебной дисциплины студент должен выполнить контрольную работу, целью которой является приобретение практических навыков в области моделирования систем при выборе адекватных объекту, временным масштабам, основным характеристикам процессов и шкалам наблюдений средств автоматизации сбора и анализа данных.

Темы для самостоятельного изучения

- Тема 1. Определение моделирования.
- Тема 2. Математическая модель.
- Тема 3. Классический (индуктивный) подход.
- Тема 4. Плохо формализуемые задачи.
- Тема 5. Противоречивые модели.
- Тема 6. Научный принцип исследований.
- Тема 7. Системный подход.
- Тема 8. Две основных стадий проектирования: макро-проектирование и микропроектирование.
- Тема 9. Основы процесса выработки решений.

3.2 Вид самостоятельной работы: подготовка к практическим занятиям

Итоговый продукт: устный отчет

Средства и технологии оценки: собеседование

Задания для практической работы

Порядок выполнения работы: требуется изучить следующие темы и ответить на основные вопросы:

Практическое занятие 1

Тема: Состояние проблемы анализа и синтеза систем с распределенными параметрами.

Вопросы:

1. Что такое системы с распределенными параметрами?
2. Что принято называть системами с сосредоточенными параметрами?
3. Перечислите отличительные черты разнообразных по природе объектов.
4. Что такое конечномерная аппроксимация систем с распределенными параметрами?
5. Что такое параметрический синтез регуляторов?
6. Что такое аналитическое конструирование оптимальных регуляторов?
7. Сформулируйте частотный метод синтеза.
8. Перечислите подразделы методов моделирования ОРП.
9. Назовите методы аппроксимации точных решений уравнений объекта.
10. Назовите методы аппроксимации исходных уравнений объекта.
11. Перечислите способы приближенного описания ОРП.
12. Что позволяют сохранить методы перехода к упрощенным распределенным блокам?
13. С чем связаны методы конечномерных приближений?
14. К чему могут привести конечномерные приближения?
15. В чем проблема обеспечения устойчивости?

Практическое занятие 2

Тема: Основные виды математических моделей систем и способов перехода от одного вида к другому. Основная классификация систем. Основные формы записи. Линеаризация математических систем. Передаточные функции объектов с распределенными параметрами. Распределенные звенья.

Вопросы:

1. Перечислите подразделы методов моделирования ОРП.
2. Какую реакцию характеризует импульсная переходная функция?
3. Что называется весовой функцией системы?
4. Дайте описание распределенных объектов на основе импульсных переходных функций.
5. Опишите функцию Грина.
6. Что называют фундаментальным решением краевой задачи?
7. Как может быть задано интегральное соотношение для функции выхода?
8. От чего не зависят параметры распределенного объекта?
9. К чему необходимо добавить пространственную форму?
10. Что принято называть «Распределенным блоком»?
11. Изобразить структуру распределенного блока.
12. Что называют фундаментальным решением краевой задачи?
13. Что описывает реакцию управляемой распределенной системы?
14. Что принято называть входными аргументами?
15. В чем заключаются трудности получения явных выражений функций Грина?
16. Как может быть задано интегральное соотношение для функции выхода?
17. В чем заключается принципиальная специфика распределенной системы?
18. Как может быть записана передаточная функция для объекта?

Практическое занятие 3

Тема: Решение задач моделирования систем с распределенными параметрами. Способы преобразования структурных схем систем. Виды теплообмена и теплопроводность

Вопросы:

1. Что принято называть микроуровнем в моделировании?
2. Что в себя включает моделирование сложных технических объектов?
3. В каких случаях вводят ряд допущений и упрощений?
4. Что описывает реакцию управляемой распределенной системы?
5. Когда необходимо переходить на макроуровень?
6. Чем служит математическая модель технической системы?
7. Чем служат объекты анализа на метауровне?
8. Что изучается в теории теплообмена?
9. К чему подчиняются различные виды теплообмена?
10. Что происходит под действием разности температур?
11. Что является обязательным условием переноса теплоты путем теплопроводности?
12. С чем связан теплообмен путем конвекции?
13. Дайте понятие «конвенция».
14. Что представляет собой теплообмен путем излучения?
15. Каким образом протекают в реальных условиях способы переноса теплоты?

Практическое занятие 4

Тема: Аналитическое построение и преобразования математических моделей реальных систем Численные методы

Вопросы:

1. Какие функции можно рассматривать на всей вещественной прямой?
2. Что можно поставить в соответствии любой непрерывной функции?
3. Опишите конечные разности функций.
4. Что такое разностная аппроксимация?
5. Сформулируйте понятие сетки и сеточных функций.
6. Что называется «сетками на отрезке»?
7. Каким путем строится конечно-разностная аппроксимация производных?
8. Рассмотрите явные и неявные схемы.
9. Рассмотрите дискретную модель объекта управления.

Практическое занятие 5

Тема: Основы классического и современного векторно-матричного подхода к исследованию динамических систем, находящихся под влиянием случайных воздействий

Вопросы:

1. Что выбирают в качестве показателя оптимальности системы регулирования?
2. Чем удобно характеризовать запас устойчивости в практических расчетах?
3. Чем является метод расширенных частотных характеристик?
4. Чем заменяется оператор Лапласа «р»?
5. Что позволила установка высокоточного регулятора температуры?
6. Какой вид имеет передаточная функция РВР?
7. Когда графики функции будут в виде прямых?
8. Перечислите современные методы исследования распределенных систем управления.

9. Частотный анализ объектов с распределёнными параметрами с помощью обычных и расширенных частотных характеристик

3.3 Вид самостоятельной работы: подготовка к лабораторным работам

Итоговый продукт: отчет письменный

Средства и технологии оценки: собеседование

Вопросы к лабораторным работам:

Лабораторная работа 1

**Моделирование распределенного входного воздействия
распределенного по одной пространственной координате.**

Вопросы:

1. Импульсная переходная функция?
2. Единичная импульсная функция?
3. Описание распределенных объектов на основе импульсных переходных функций
4. Функция Грина?
5. Идеальное пространственно - дифференцирующее звено
6. Пространственно - изодромное звено
7. Пространственно-форсирующее звено?
8. Передаточная функция пространственно - изодромного звена?
9. Модальное представление систем с распределенными параметрами?
10. Преобразованная по Лапласу?

Лабораторная работа 2

**Моделирование распределенного входного воздействия
распределенного по двум пространственным координатам.**

Вопросы:

1. Математическое моделирование технических систем?
2. Виды теплообмена?
3. Теплопроводность?
4. Основным законом теплопроводности?
5. Определение решетчатой функции?
6. Разностная аппроксимация дифференциальных уравнений?
7. Явные и неявные схемы?
8. Дискретная модель объекта управления?
9. Дискретизация?
10. Методика составления дискретной модели?

Лабораторная работа 3.

Моделирование двумерного распределенного объекта.

Вопросы:

1. Метод анализа систем?
2. Построение частотных характеристик?
3. Частотный анализ объекта методом ОЧХ?
4. Анализ объекта методом РЧХ?
5. Амплитудно-частотная характеристика?
6. Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика?
7. Фазо-частотная характеристика?
8. Процедура построения РЧХ?
9. РПГ распределенного объекта управления?
10. Пространственный годограф?

Лабораторная работа 4.

Моделирование трехмерного распределенного объекта.

Вопросы:

1. ВРТ (высокоточный регулятор температуры)?
2. Из чего состоит регулятор в ВРТ?
3. Передаточная функция РВР?
4. Частотный анализ РВР?
5. Минимальное значение модуля равно?
6. Частотные поверхности РВР?
7. Графики линий перегиба?
8. Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика?
9. Синтеза распределенного высокоточного регулятора?
10. Чем определяются параметрических возмущений?

Лабораторная работа 5.

Моделирование замкнутой распределенной системы управления с пространственно-усилительным звеном.

Вопросы:

1. Моделирование тепловых процессов?
2. Реактора АЭС РБМК-1000 ?
3. Мониторинг параметров реактора?
4. Ячейка технологического (топливного) канала (без ТВС)?
5. Схема расположения рассматриваемых ячеек технологических

каналов?

6. Граничные условия для дифференциального уравнения?
7. Блок-схема вычислительного алгоритма?
8. Упрощенная блок-схема вычислительного алгоритма?
9. Форма ввода исходных данных?
10. Что позволит методика моделирования?

Лабораторная работа 6.

Моделирование замкнутой распределенной системы управления с распределенным пропорционально-интегральным блоком.

Вопросы:

1. Конструктивно нагревательная камера состоит ...?
2. Синтез регулятора?
3. Структурная схема системы управления?
4. Нагревательная камера?
5. Нагревательная камера для вытяжки световодов?
6. Высокочастотный регулятора (РВР)?
7. Движение тепловой волны можно осуществить...?
8. Секционный нагреватель?
10. Математическая модель нагревательной камеры?
11. Геометрические параметры камеры?

Лабораторная работа 7.

Моделирование замкнутой распределенной системы управления с распределенным высокоточным регулятором

Вопросы:

1. Гидродинамические процессы?
2. Оператор Лапласа?
3. Параметры, определяемые с использованием результатов эксперимента ?
4. Схема расположения скважин?
5. Расширенный пространственный годограф?
6. РАФЧХ распределенного объекта управления?
7. Построение частотных характеристик?
8. ЛАЧХ распределенного объекта управления?
9. ФЧХ распределенного объекта управления?
10. Синтез регулятора?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. *Душин С.Е.* Моделирование систем и комплексов [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.Е. Душин, А.В. Красов, Ю.В. Литвинов. Электрон. текстовые данные. СПб.: Университет ИТМО, 2010. 177 с.

Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/68669.html>

2. *Егоров А.И.* Введение в теорию управления системами с распределенными параметрами. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.И. Егоров, Л.Н. Знаменская. Электрон. дан. СПб.: Лань, 2017. 292 с.

Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/93595>.

3. Моделирование систем. Подходы и методы [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Н. Волкова [и др.]. Электрон. текстовые данные. СПб: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2013. 568 с.

Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43957.html>

4. *Казиев В.М.* Введение в анализ, синтез и моделирование систем [Электронный ресурс] / В.М. Казиев. Электрон. текстовые данные. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016. 270 с.

Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/52188.html>

5. *Русак С.Н.* Моделирование систем управления [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.Н. Русак, В.А. Криштал. Электрон. текстовые данные. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. 136 с.

Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63216.html>

Дополнительная литература

1. *Першин И.М.* Управление в технических системах. Введение в специальность [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.М. Першин, В.А. Криштал, В.В. Григорьев. Электрон. текстовые данные. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2014. 146 с.

Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63147.html>

2. *Тимохин А. Н.* Моделирование систем управления с применением MatLab [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Н. Тимохин, Ю.Д. Румянцев; под ред. А.Н. Тимохина. М.: ИНФРА-М, 2016. 256 с.

Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=474709>

3. *Сёмина В.В.* Моделирование систем [Электронный ресурс]: методические указания для проведения лабораторных работ по дисциплине «Моделирование систем» / В.В. Сёмина. Электрон. текстовые данные. Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2016. 17 с.

Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/64869.html>

4. Моделирование систем автоматического регулирования теплоэнергетических установок [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Управление техническими системами» / А.Г. Кузнецов [и др.]. Электрон. текстовые данные. М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2011. 28 с.

Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/31087.html>

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Общая характеристика самостоятельной работы при изучении дисциплины «Математическое моделирование систем с распределёнными параметрами».....	3
2 Контрольные точки и виды отчетности по ним.....	5
3 Методические указания по изучению теоретического материала.....	6
3.1 Вид самостоятельной работы: самостоятельное изучение литературы.....	6
3.2 Вид самостоятельной работы: подготовка к практическим занятиям.....	7
3.3 Вид самостоятельной работы: подготовка к лабораторным работам.....	12
Библиографический список.....	15