

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА АВТОМАТИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

Факультеты: Электроэнергетический, ЗДО

Направление подготовки 27.03.04 – Управление в технических системах

Направленность (профиль): «Управление и информатика в технических
системах»

ВОЛОГДА
2016

УДК 62.529

Моделирование систем управления: рабочая программа, методические указания для самостоятельной работы и контрольные задания / М-во образ. и науки РФ, Вологод. гос. ун-т; [сост.: В.Н. Тюкин]. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 23 с.

Приводится рабочая программа дисциплины с указанием тематики основных разделов, методические указания для самостоятельной работы со ссылками на источники информации, контрольные задания и список литературы.

Предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения, обучающихся по направлению подготовки: 27.03.04 – управление в технических системах и направленности «Управление и информатика в технических системах».

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Составитель: В.Н. Тюкин, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: Е.В. Несговоров, канд. техн. наук, доцент
кафедры электроснабжения ВоГУ

ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Моделирование систем управления» являются:

1. Изучение основ математического моделирования, необходимых при проектировании, исследовании и эксплуатации объектов и систем автоматизации и управления.
2. Формирование навыков построения математических моделей объектов и систем управления и проведения вычислительных экспериментов.
3. Формирование умений формально описывать функционирование объектов и систем управления, составлять математическую и программную модели объектов и систем управления, пользоваться существующими инструментами моделирования.

МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина относится к базовой части блока дисциплин (модулей) ОПОП ВО, изучается в 7 семестре.

Для освоения данной дисциплины как последующей необходимо изучение следующих дисциплин ООП: математика; информатика; программирование и основы алгоритмизации; электротехника и электроника; метрология и измерительная техника; математические основы теории систем; теория автоматического управления.

Требования к «входным» знаниям, умениям и готовности студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин, включают следующее:

знать: аналитическую геометрию и линейную алгебру; математический анализ; теорию вероятностей и математическую статистику, математические основы теории систем, теорию автоматического управления; основные понятия и аксиомы информатики, инженерной и компьютерной графики; устройство ЭВМ и основные методы и приемы работы с персональным компьютером;

уметь: работать с источниками информации, структурировать информацию, составлять программы, подбирать необходимые программные средства для обработки различных видов информации, работать с персональным компьютером; применять ЭВМ к решению практических задач;

владеть: методами поиска и обработки информации; методами аналитической геометрии, математического анализа; теории вероятности и математической статистики; навыками составления алгоритмов и решения вычислительных задач с помощью ЭВМ.

Освоение данной дисциплины как предшествующей необходимо при изучении следующих дисциплин и практик: компьютерная практика, электронные устройства систем управления, микропроцессорные устройства систем управления, оборудование автоматизированных производств, автоматизированные информационно-управляющие системы.

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать: принципы и методы построения (формализации) и исследования математических моделей объектов и систем управления, их формы представления и преобразования;

уметь: использовать методы математического моделирования при разработке систем и средств автоматизации и управления;

владеть: принципами и методами математического моделирования, навыками проведения вычислительных (компьютерных) экспериментов при создании систем и средств автоматизации и управления.

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 ЗЕТ (144 часа), в том числе в семестрах:

| Семестр № | Трудоемкость | | | | | РПР, курсовая работа, курсовой проект | Форма промежуточной аттестации |
|-----------|--------------|------|---------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| | Всего | | Контактная работа час. | СРС час. | Экз. час. | | |
| | ЗЕТ | час. | | | | | |
| 7 | 4 | 144 | Лекций – 14 Лабораторных работ – 28 Практических занятий – 14 | 52 | 36 | – | Зачет Экзамен |

ПРОГРАММА КУРСА

ВВЕДЕНИЕ

В.1. Современное состояние проблемы моделирования систем.

В.2. Использование моделирования при исследовании, проектировании и управлении систем.

Литература: [5, 10].

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

- 1.1. Определение модели и моделирования. Требования, предъявляемые к модели. Назначение модели.
- 1.2. Принципы подхода в моделировании систем.
- 1.3. Классификация видов моделирования систем.
- 1.4. Возможности и эффективность моделирования систем на вычислительных машинах.

Литература: [5, 10].

2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

- 2.1. Основные подходы к построению математических моделей систем. Математическая схема общего вида.
- 2.2. Непрерывно-детерминированные модели (D - схемы).
- 2.3. Дискретно-детерминированные модели (F - схемы).
- 2.4. Дискретно-стохастические модели (P - схемы).
- 2.5. Непрерывно-стохастические модели (Q - схемы).
- 2.6. Обобщенные модели (A - схемы).

Литература: [5, 10].

3. ФОРМАЛИЗАЦИЯ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ

- 3.1. Последовательность разработки и машинной реализации моделей систем.
- 3.2. Построение концептуальной модели системы и ее формализация.
- 3.3. Алгоритмизация модели и ее машинная реализация.
- 3.4. Получение и интерпретация результатов моделирования.

Литература: [5, 10].

4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ

- 4.1. Имитационное моделирование.
- 4.2. Прикладной программный пакет VisSim.
- 4.3. Среда и функциональная структура языка моделирования GPSS.
- 4.4. Система программного обеспечения GPSS/PC.

Литература: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13].

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Курс “Моделирование систем управления” должен дать студенту современный мощный эффективный рабочий инструмент для исследования и проектирования любых автоматических и автоматизированных систем во всех областях техники и деятельности человека. Именно моделирование является

средством, позволяющим без капитальных затрат решить проблему построения больших систем, к которым относится и современное автоматизированное производство.

Важность изучаемого курса заключается также в овладении приемами и технологией практического решения задач моделирования процессов функционирования систем на ЭВМ.

Студенты должны изучить материал курса в основном самостоятельно. По наиболее сложным вопросам курса, а также по вопросам, недостаточно освещенным в литературе, читаются лекции. Практические навыки по моделированию студенты получают на практических и лабораторных занятиях. Кроме того, в процессе изучения курса, студенты заочного обучения выполняют контрольную работу.

ВВЕДЕНИЕ

“Понять – значит построить модель”.

У.Томсон (Кельвин)

Изучение курса следует начать с ознакомления с современным производством, которое можно рассматривать как сложную систему взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, в которой в качестве технологического объекта управления выступает материально-производственная система, а роль регулятора выполняет информационно-управляющая система. Повышение эффективности реализации процессов управления в производстве требует широкого внедрения автоматизированных систем управления, создаваемых с применением экономико-математических методов и средств информационно-вычислительной техники. В настоящее время полное и всестороннее исследование автоматизированных систем управления на всех этапах разработки, начиная с обследования объекта управления и составления технического задания на проектирование и кончая внедрением системы в эксплуатацию, невозможно без методов моделирования на ЭВМ.

Необходимо уяснить, что методологической основой моделирования является диалектико-материалистический метод познания и научного исследования. Обобщенно моделирование можно определить как метод опосредованного познания, при котором изучаемый объект-оригинал находится в некотором соответствии с другим объектом-моделью, причем модель способна в том или ином отношении замещать оригинал на некоторых стадиях познавательного процесса.

1. Основные понятия моделирования систем

“Определите значение слов,
И вы избавите человечество
От половины его заблуждений”.

Р. Декарт

Изучая этот раздел, важно уяснить основные понятия, определения, цели и принципы моделирования.

Модель это изображение оригинала на основе принятых гипотез и аналогий, а моделирование – представление объекта моделью для получения информации об этом объекте путем проведения экспериментов с его моделью.

Основное требование, которому должна удовлетворять модель, адекватность объекту. Адекватность модели зависит от цели моделирования и принятых критериев. Модель адекватна объекту, если результаты моделирования подтверждаются и могут служить основой для прогнозирования процессов, протекающих в исследуемых объектах.

Моделирование решает задачи изучения и исследования объектов, предсказания их функционирования, синтеза структуры, параметров и алгоритмов поведения.

При управлении модели позволяют оценивать ненаблюдаемые переменные процесса, прогнозировать состояние процесса при имеющихся или выбираемых управлениях и автоматически синтезировать оптимальные стратегии управления.

При проектировании и эксплуатации автоматизированных систем возникают многочисленные задачи, требующие оценки количественных и качественных закономерностей процессов функционирования систем, проведения структурного, алгоритмического и параметрического синтеза. Решение этих проблем в настоящее время невозможно без использования различных видов моделирования, что обусловлено особенностями больших систем, такими как сложность структур, стохастичность связей между элементами и внешней средой, неоднозначность алгоритмов поведения, большое количество параметров и переменных, неполнота и недетерминированность исходной информации. Математическое моделирование позволяет существенно уменьшить время проектирования, во многих случаях позволяет найти оптимальное решение, исключить метод натурных проб и ошибок, перейти к параллельному процессу проектирования.

В настоящее время при анализе и синтезе больших систем получил развитие системный подход, предполагающий последовательный переход от общего к частному, когда в основе рассмотрения лежит цель, причем иссле-

дуемый объект выделяется из окружающей среды. Модель в этом случае создается под поставленную проблему, а моделирование заключается в решении проблемы цели, проблемы построения модели, проблемы работы с моделью. Для правильно выбранной модели характерным является то, что она выявляет лишь те закономерности, которые нужны исследователю, и не рассматривает свойства системы, не существенные для данного исследования.

Основными принципами моделирования являются.

Принцип информативной достаточности. Определяет уровень априорных сведений, при котором может быть создана адекватная модель.

Принцип осуществимости. Определяется вероятностью достижения цели моделирования за конечное время.

Принцип множественности моделей. Создаваемая модель должна отражать в первую очередь те свойства реальной системы, которые влияют на выбранный показатель эффективности.

Принцип агрегирования. Модель объекта представлять из агрегатов (подсистем), которые пригодны для описания стандартными математическими схемами.

Принцип параметризации. Модель должна иметь в своем составе подсистемы, характеризующиеся параметрами.

В основе классификации видов моделирования систем лежат различные признаки, такие как степень полноты модели, характер математического описания. Важное место занимает математическое моделирование, представляющее собой процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью, и исследование этой модели, позволяющее получить характеристики рассматриваемого реального объекта. Математическое моделирование включает в себя аналитическое и имитационное. Имитационное моделирование основано на прямом описании моделируемого объекта, используя структурное подобие объекта и модели, т.е. каждому существенному, с точки зрения решаемой задачи, элементу объекта ставится в соответствие элемент модели.

Техническим средством решения инженерных задач на базе моделирования является ЭВМ. Машинный эксперимент с моделью дает возможность исследовать процесс функционирования в любых условиях, сокращает продолжительность испытаний по сравнению с натурным экспериментом, обладает гибкостью варьирования параметров, структуры, алгоритмов моделируемой системы, является единственным практически реализуемым методом исследования процесса функционирования систем на этапе их проектирования.

В настоящее время существует большое количество языков и систем моделирования. Эффективными и доступными средствами исследования динамических систем являются, MatLab, VisSim, Continuous System Simulation Environment (CSSE), а систем массового обслуживания - General Purpose Simulation System (GPSS).

Заповеди математического моделирования оформлены в виде следующих принципов.

Принцип простоты. Не решай сложную задачу, не решив простую.

Принцип А.А. Андропова. Без ошибки нет модели, а потому негрубые модели – плохие.

Принцип Э. Хемингуэя. Можно пренебрегать чем угодно, нужно только знать, как это повлияет на результат.

Принцип надежности. Чем проще модель, тем реже она обманет.

Принцип А.Н. Крылова. Точность результатов не может быть выше точности исходных данных; точности промежуточных вычислений должны быть согласованы.

Принцип Р. Хемминга. Цель расчетов – не числа, а понимание. Прежде чем решать задачу, подумай, что делать с её решением.

Принцип Питера. ЭВМ многократно увеличивает некомпетентность вычислителя.

Вопросы для самопроверки.

1. Что такое модель и моделирование?
2. Сформулируйте основные требования, предъявляемые к модели.
3. Какова роль моделирования при исследовании и проектировании систем и управлении?
4. Дайте определения системы, внешней среды, функционирования системы.
5. В чем смысл системного подхода в моделировании?
6. Перечислите признаки классификации видов моделирования систем.
7. Расскажите о математическом моделировании и его видах.
8. В чем отличие аналитического и имитационного моделирования?
9. Что такое кибернетическое моделирование?
10. Роль и назначение ЭВМ при моделировании.

2. Математические схемы моделирования систем

“Высшее назначение математики –
Находить порядок в хаосе,
Который нас окружает “.

Н. Винер

При изучении этого раздела прежде всего необходимо обратить внимание на понятия математических схем моделирования как общего вида, так и типовых.

Математическую схему определяют как звено при переходе от содержательного к формальному описанию процесса функционирования системы с учетом воздействия внешней среды, т.е. имеет место цепочка “описательная модель – математическая схема – математическая модель”. Математическая схема позволяет рассматривать математику не как метод расчета, а как метод мышления, как средство формулирования понятий, что является наиболее важным при переходе от словесного описания системы к формальному представлению процесса ее функционирования в виде некоторой математической модели.

Модель объекта моделирования, т.е. систему, можно представить в виде множества величин, описывающих процесс функционирования реальной системы и образующих в общем случае следующие подмножества : совокупность входных воздействий на систему, совокупность воздействий внешней среды, совокупность внутренних (собственных) параметров системы и совокупность выходных характеристик системы. Входные воздействия, воздействия внешней среды, внутренние параметры являются независимыми (э к з о г е н н ы м и) переменными, а выходные характеристики системы являются зависимыми (э н д о г е н н ы м и) переменными. Математическая схема моделирования общего вида задается оператором, который преобразует экзогенные переменные в эндогенные.

В практике моделирования пользуются типовыми математическими схемами, которые не обладают общностью, но имеют преимущества простоты и наглядности. К ним относятся детерминированные, стохастические и агрегатные типовые модели. В качестве детерминированных моделей используются дифференциальные, интегральные, интегродифференциальные и другие уравнения, а для представления систем, функционирующих в дискретное время – разностные уравнения и конечные автоматы. В качестве стохастических моделей для представления систем с дискретным временем используют-

ся вероятностные автоматы, а для представления систем с непрерывным временем – системы массового обслуживания. Агрегатные модели отображают системный характер объектов, которые расчлняются на конечное число частей, сохраняя связи, обеспечивающие взаимодействие частей.

Типовые математические схемы (D-, F-, P-, Q-, A-) позволяют формализовать достаточно широкий класс больших систем, с которыми приходится иметь дело в практике исследования и проектирования производственных задач.

Вопросы для самопроверки.

1. Какова роль математической схемы моделирования?
2. Что представляет собой математическая схема общего вида?
3. Назовите основные формы представления непрерывно-детерминированных моделей.
4. Дайте описание дискретного конечного автомата.
5. Перечислите способы задания работы F - автоматов.
6. Каким образом задается вероятностный автомат?
7. Что представляет собой СМО? Назовите основные элементы СМО.
8. Что такое транзакт?
9. Расскажите о символике Q-схем. Как графически изображаются : источник заявок, канал обслуживания, накопитель, клапан, потоки событий. Приведите пример изображения СМО в символике Q - схем.
10. Какова структура агрегатной системы?

3. Формализация и алгоритмизация процесса функционирования систем

“Всегда стройте все снизу вверх”.

Ф. Рузвельт

При изучении этого раздела необходимо выяснить практические шаги, которые требуется выполнить для моделирования, реализации модели, проведения экспериментов на этой модели, анализа, интерпретации и оформления результатов моделирования.

С развитием вычислительной техники наиболее эффективным и универсальным методом исследования больших систем стало машинное моделирование. Хорошая модель должна быть простой и понятной пользователю, целенаправленной, надежной в смысле гарантии от абсурдных ответов, удобной в управлении и обращении, полной с точки зрения возможностей решения главных задач, адаптивной, т.е. позволяющей легко переходить к другим модификациям или обновлять данные.

Моделирование системы включает три этапа: построение концептуальной модели системы и ее формализация; алгоритмизация модели системы и ее машинная реализация; получение и интерпретация результатов моделирования системы. Концептуальная модель представляет собой механизм перехода от словесного описания процесса функционирования системы к математической модели этого процесса. Алгоритмизация модели направлена на практическую реализацию идей и математических схем в виде машинной модели процесса функционирования системы. Основными принципами построения моделирующих алгоритмов являются: принцип приращения времени и принцип изменения состояния. Проведение экспериментов с машиной требует математического, программного, информационного и технического обеспечения. ЭВМ используется для проведения рабочих расчетов по составленной и отлаженной программе. Результаты этих расчетов позволяют проанализировать и сформулировать выводы о характеристиках процесса функционирования моделируемой системы.

Важным этапом является составление технической документации, рассматриваемой как средство эффективного взаимодействия специалистов при решении задачи.

Вопросы для самопроверки.

1. Перечислите требования, предъявляемые к модели процесса функционирования системы.
2. Назовите основные этапы моделирования системы. Что они включают в себя?
3. Что такое концептуальная модель?
4. Что представляет собой блочная модель системы?
5. Назовите основные этапы построения концептуальной модели системы.
6. Каковы основные принципы построения моделирующих алгоритмов?
7. Перечислите требования, предъявляемые к «хорошей» машинной модели.
8. Перечислите формы представления моделирующих алгоритмов.
9. Что включает в себя этап алгоритмизации модели системы и её машинной реализации?
10. Что включает в себя этап получения и интерпретации результатов моделирования?

4. Математическое моделирование систем

“Сегодня это действительно слишком просто:
Вы можете подойти к компьютеру
И практически без знания того, что вы делаете,
Создавать разумное и бессмыслицу
С поистине изумительной быстротой “.

Дж. Бокс

Имитационное моделирование на сегодня является самым мощным инструментом исследования сложных систем, управление которыми связано с принятием решений в условиях неопределенности, что характерно для больших систем.

Имитационное моделирование есть процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы. Имитировать значит вообразить, постичь суть явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте. Имитационное моделирование целесообразно применять или когда не существует законченной математической постановки задачи, или когда аналитические методы сложны и трудоемки. Структура имитационной модели включает в себя компоненты, переменные, параметры, функциональные зависимости, ограничения и целевые функции.

Прикладной программный пакет VisSim – мощное, удобное в использовании, компактное и эффективное средство, предназначенное для построения, исследования и оптимизации виртуальных моделей физических и технических объектов, в том числе и систем управления. VisSim это аббревиатура выражения Visual Simulator – визуальная, воспринимаемая зрением, среда и средство моделирования.

Программа VisSim разработана и развивается компанией Visual Solutions [4, 8]. Предоставляет человеку развитый графический интерфейс, используя который исследователь создает модель из виртуальных элементов с некоторой степенью условности так же, как если бы он строил реальную систему из настоящих элементов. Это позволяет создавать, а затем исследовать и оптимизировать модели систем широкого диапазона сложности.

При описании и последующем построении модели в среде VisSim нет необходимости записывать и решать дифференциальные уравнения, про-

грамма это сделает сама по предложенной ей исследователем структуре системы и параметрам её элементов. Результаты решения выводятся в наглядной графической форме. Поэтому программой могут пользоваться и те, кто не имеет глубоких познаний в математике и программировании.

При использовании VisSim не требуется владеть программированием на языках высокого уровня или ассемблере. В то же время специалисты, владеющие программированием, могут создавать собственные блоки, дополняя ими богатую библиотеку стандартных блоков VisSim.

GPSS (General Purpose Simulation System) – общецелевая система моделирования, представляет собой язык и машинную программу. Машинная программа интерпретирует модель, написанную на языке GPSS, предоставляя тем самым пользователю возможность проведения экспериментов с этой моделью на ЭВМ.

GPSS предназначена для создания моделей систем массового обслуживания. Модели на GPSS компактны, что является следствием того, что в GPSS встроено максимально возможное число логических программ, необходимых для моделирования систем.

GPSS построен в предположении, что моделью системы является описание её элементов и логических правил их взаимодействия в процессе функционирования моделируемой системы. Далее предполагается, что для моделируемых систем можно выделить небольшой набор абстрактных элементов, называемых объектами. Причём набор логических правил тоже ограничен и может быть описан небольшим числом стандартных операций.

Основой GPSS являются программы, описывающие функционирование конечного набора объектов, и специальная диспетчеризирующая программа – *симулятор*, которая выполняет следующие функции:

- обеспечение заданных маршрутов продвижения динамических объектов, называемых далее *транзактами* (сообщениями);
- планирование событий, происходящих в модели, путём регистрации времени наступления каждого события и выполнения их в нарастающей временной последовательности;
- регистрацию статистической информации о функционировании модели;
- продвижение модельного времени в процессе моделирования системы.

Система программного обеспечения GPSS/PC предназначена для имитационного моделирования систем массового обслуживания. В системе GPSS/PC языком моделирования является язык GPSS.

Наиболее распространенным методом описания систем является составление блок-диаграмм. Блок-диаграмма – это графическое представление операций, происходящих внутри системы. Другими словами, блок-диаграмма описывает взаимодействие событий внутри системы. Линии, соединяющие блоки, указывают маршруты потоков сообщений или описывают последовательность выполняемых событий. В случае нескольких вариантов действий от блока отходят несколько линий. Если же к блоку подходят несколько линий, то это означает, что выполняемая операция является общей для двух или более последовательностей блоков. Выбор логических путей может основываться на статистических или логических условиях, действующих в момент выбора.

В GPSS/PC имеется определенное количество типов блоков для задания объектов и операций над ними. Каждому блоку соответствует графическое изображение на блок-диаграмме. Стрелки между блоками указывают маршруты потоков сообщений.

Далее, чтобы применить язык моделирования GPSS, каждый блок блок-диаграммы заменяется соответствующим оператором GPSS/PC.

Использование ЭВМ является мощным средством реализации моделей и исследования с их помощью характеристик процессов функционирования систем. Успех или неудача любого исследования системы на программно реализуемой модели прежде всего зависит от правильности схемы моделирующего алгоритма, совершенства программы и в меньшей степени зависит от технических характеристик ЭВМ. Большое значение при реализации модели на ЭВМ имеет вопрос правильного выбора языка моделирования. Основными моментами, характеризующими качество языков моделирования, являются: удобство описания процесса функционирования системы, удобство ввода исходных данных моделирования и варьирования структуры, алгоритмов и параметров модели, реализуемость статистического моделирования, эффективность анализа и вывода результатов моделирования, простота отладки и контроля работы моделирующей программы, доступность восприятия и использования языка.

Вопросы для самопроверки.

1. Дайте определение имитационного моделирования.
2. Перечислите достоинства и недостатки имитационного моделирования.
3. Какова структура имитационных моделей?
4. Изобразите блок-схему процесса имитации.

5. Что включает в себя конструирование модели по Моррису?
6. Чем характеризуется качество языков моделирования?
7. В чем заключается преимущество системы имитационного моделирования GPSS?
8. Что представляет собой система имитационного моделирования GPSS?
9. Какова методика построения моделей в GPSS.
10. Перечислите объекты GPSS.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Определение модели и моделирования. Требования предъявляемые к модели. Назначение модели. Принципы моделирования.
2. Классификация видов моделирования.
3. Принципы подхода в моделировании.
4. Математическое моделирование и его виды. Роль и назначение ЭВМ.
5. Роль моделирования при исследовании и проектировании систем.
6. Математические схемы моделирования. Математическая схема общего вида.
7. Формы задания оператора системы F_s .
8. Математические схемы моделирования. D-схемы.
9. Модель вход-состояние-выход (BCB).
10. Передаточная матрица и структурная схема модели BCB.
11. Характеристики систем: устойчивость, управляемость, наблюдаемость.
12. Структура решения уравнений переменных состояния.
13. Эквивалентные преобразования моделей BCB и канонические представления.
14. Математические схемы моделирования. F-схемы.
15. Способы задания конечных автоматов.
16. Описание дискретных систем в пространстве состояний.
17. Математические схемы моделирования. P-схемы.
18. Математические схемы моделирования. Q-схемы.
19. Символика Q-схем.
20. Типы потока событий.
21. Математические схемы моделирования. A-схемы.
22. Этапы моделирования. Концептуальная модель.
23. Этапы моделирования. Машинная модель.
24. Принципы построения моделирующих алгоритмов и формы их представления.

25. Этапы моделирования. Получение и интерпретация результатов.
26. Требования, предъявляемые к “хорошей” модели.
27. Имитационное моделирование. Достоинства и недостатки.
28. Структура имитационных моделей.
29. Конструирование имитационной модели. Закон Парето.
30. Этапы процесса имитации.
31. Общая характеристика системы моделирования GPSS.
32. Назначение и построение системы моделирования GPSS.
33. Группы блоков GPSS.
34. Общая блок-схема моделирования на GPSS.
35. Заповеди математического моделирования.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Тематика лабораторных работ:

- моделирование непрерывных динамических систем;
- моделирование дискретных динамических систем;
- моделирование нелинейных динамических систем;
- моделирование систем массового обслуживания.

Литература: [7, 8].

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Тематика практических занятий:

- построение моделей вида вход-выход (ВВ);
- построение моделей вида вход-состояние-выход (ВСВ);
- изучение СПО GPSS;
- построение имитационных моделей СМО.

Литература: [1, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13].

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Контрольная работа включает две задачи.

Для выполнения контрольной работы студент выбирает вариант типового задания в соответствии с последней цифрой своего шифра.

Первая задача решается в программной среде Mathcad [2] и состоит в получении описания системы в пространстве состояний (модель типа «ВСВ») по передаточной функции $\Phi(s)$ (модель типа «ВВ») замкнутой системы автома-

тического управления и оценки ее устойчивости, управляемости и наблюдаемости. Для этого передаточную функцию $\Phi(s)$ необходимо представить в виде отношения полиномов, записанных по степеням переменной оператора Лапласа s . Далее от передаточной функции требуется перейти к дифференциальному уравнению, описывающую систему, которое, вводя промежуточные переменные, число которых равно порядку системы, переписывают в форме Коши [11]. Полученная таким образом система уравнений позволяет сформировать сопровождающую матрицу A , матрицу чувствительности B и матрицы C и D связи выходной величины системы с ее состоянием и входом. Для исследования устойчивости необходимо определить собственные числа матрицы A , управляемость и наблюдаемость оцениваются нахождением определителей матриц управляемости и наблюдаемости, формируемых матрицами A , B , C . Качество работы системы оценивается по переходной характеристике, полученной по описанию системы в пространстве состояний. Для оценки эквивалентности моделей типа «BCB» и «BB» строится переходная характеристика замкнутой системы по передаточной функции $\Phi(s)$ в программной среде ТАУ [9].

В ходе решения второй задачи студент должен выполнить формализацию описания объекта моделирования в терминах математических схем, построить обобщенную и детальную структурную схему объекта моделирования, разработать алгоритмическое описание работы модели на уровне блок-схемы, программно реализовать модель на языке GPSS [10].

Текстовое описание объекта моделирования с числовыми данными, приведенными в задании, следует рассматривать как концептуальную модель, получаемую в результате некоторых допущений и упрощений реального объекта и постановки цели моделирования. Концептуальную модель следует проверять на непротиворечивость и полноту описания, для чего надо убедиться, что задание содержит всю необходимую качественную и количественную информацию об объекте.

В качестве аппарата формализации процессов функционирования объектов моделирования в контрольной работе используется типовая математическая Q-схема.

Сначала необходимо формализовать объект моделирования в виде структурного представления модели в символике Q-схем. Такая схема дает наглядное представление о структуре моделируемой системы, составе входящих в нее элементов, связях между ними, воздействиях внешней среды.

Следующим этапом является алгоритмизация процесса функционирования объекта моделирования, представленного в виде типовой математической схемы (Q-схемы). Построение блок-схемы модели позволяет облегчить разработку программной модели, а также упростить контроль правильности логической структуры модели. Далее осуществляется формальный переход к тексту программы на языке GPSS и “насыщению” его числовыми значениями [6, 7].

В дальнейшем по результатам контрольной работы разработанные модели реализуются студентом на практических занятиях, осуществляется ряд прогонов модели на ЭВМ и полученные результаты машинного эксперимента интерпретируются и анализируются в терминах объекта моделирования.

Контрольная работа оформляется в виде пояснительной записки. К выполнению контрольной работы следует приступать после изучения соответствующих разделов курса.

Литература: [2, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13].

Варианты типовых заданий для контрольной работы:

Задача № 1.

Получить описание замкнутой системы автоматического управления в пространстве состояний, передаточная функция которой имеет вид :

$$\Phi(s) = \frac{K(T_2s+1)^2(T_4s+1)(1-T_5s)}{s(T_1s+1)^2(T_3s+1)^3 + K(T_2s+1)^2(1-T_5s)};$$

где коэффициент передачи K и постоянные времени T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 имеют значения, заданные в таблице.

Таблица

| Вариант | K | T_1 | T_2 | T_3 | T_4 | T_5 |
|---------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 200 | 4,12 | 1,05 | 0,007 | 0,06 | 0,008 |
| 2 | 125 | 4,24 | 1,09 | 0,01 | 0,08 | 0,008 |
| 3 | 450 | 11,3 | 2,3 | 0,001 | 0,055 | 0,007 |
| 4 | 125 | 2,75 | 1,0 | 0,003 | 0,08 | 0,007 |
| 5 | 300 | 1,69 | 0,42 | 0,007 | 0,07 | 0,006 |
| 6 | 200 | 5,01 | 1,32 | 0,005 | 0,06 | 0,006 |
| 7 | 520 | 8,7 | 1,4 | 0,004 | 0,05 | 0,005 |
| 8 | 100 | 13,2 | 1,1 | 0,017 | 0,08 | 0,005 |
| 9 | 550 | 9,5 | 1,6 | 0,002 | 0,06 | 0,004 |
| 10 | 486 | 2,69 | 0,5 | 0,013 | 0,07 | 0,004 |

Порядок выполнения.

1. Записать в стандартной форме уравнения системы в пространстве состояний.

2. Определить сопровождающую матрицу, матрицу чувствительности и матрицы связи выходной величины системы с ее состоянием и входом.

3. Оценить устойчивость, управляемость и наблюдаемость системы.

4. Построить переходную характеристику системы и сделать выводы.

Литература: [2, 9, 11].

Задача № 2.

Задание 1. На обрабатывающий участок цеха поступают детали через 50 ± 10 минут. Первичная обработка деталей производится на одном из двух станков. Первый станок обрабатывает деталь за 40 ± 10 минут и имеет до 4 % брака, второй – соответственно 60 ± 12 минут и 8 % брака. Все бракованные детали возвращаются на повторную обработку на второй станок. Детали, попавшие в разряд бракованных дважды, считаются отходами.

Смоделировать работу участка в течение недели (5 дней) при двухсменной работе по 8 часов.

Задание 2. На сборочный участок цеха предприятия через 10 ± 4 минут поступают партии, каждая из которых состоит из трех деталей. Половина всех поступающих деталей перед сборкой должна пройти предварительную обработку в течение 7 ± 3 минуты. На сборку поступают обработанная и необработанная детали. Процесс сборки занимает 6 ± 2 минут.

Смоделировать работу производственного участка в течение 8 часов.

Задание 3. На регулировочный участок цеха через 30 ± 10 минут поступают по два агрегата. Первичная регулировка осуществляется для двух агрегатов одновременно и занимает 30 ± 6 минут. Если в момент прихода агрегатов предыдущая партия не была обработана, поступившие агрегаты на регулировку не принимаются и поступают в первичный накопитель. Агрегаты после первичной регулировки через промежуточный накопитель поступают попарно на вторичную регулировку, которая выполняется за 30 ± 15 минут, а не прошедшие первичную обработку агрегаты из первичного накопителя поступают на полную регулировку, которая занимает 100 ± 20 минут для одного агрегата.

Смоделировать работу участка до изготовления 100 агрегатов.

Задание 4. На участке термической обработки выполняются цементация и закаливание шестерен, поступающих через 10 ± 5 минут. Цементация зани-

мает 10 ± 7 минут, а закаливание 10 ± 6 минут. Качество определяется суммарным временем обработки. Шестерни с временем обработки больше 25 минут покидают участок, с временем от 20 до 25 минут передаются на повторную закалку и при времени обработки меньше 20 минут должны пройти повторную полную обработку.

Смоделировать процесс обработки на участке до изготовления 400 шестерен.

Задание 5. В студенческом машинном зале расположены две мини ЭВМ и одно устройство подготовки данных (УПД). Студенты приходят с интервалом в 8 ± 2 минуты и треть из них хочет использовать УПД и ЭВМ, а остальные только ЭВМ. Допустимая очередь в машинном зале составляет четыре человека, включая работающего на УПД. Работа на УПД занимает 8 ± 1 минута, а на ЭВМ – 17 минут.

Смоделировать работу машинного зала в течение дня (10 часов).

Задание 6. Обрабатывающий участок цеха состоит из двух производственных модулей, включающих загрузочный робот и станок. Детали первого типа поступают на первый модуль через 40 ± 10 секунд, детали второго типа поступают соответственно на второй модуль через 30 ± 10 секунд. Среднее время загрузки модулей составляет по 5 ± 2 секунды. Обработка детали первого типа длится 20 ± 5 секунд и соответственно второго типа – 15 ± 5 секунд. Выгрузка модулей производится общим роботом, который также формирует транспортные партии деталей первого типа по 50 штук, а деталей второго типа по 100 штук. Среднее время выгрузки 10 ± 3 секунды.

Промоделировать работу участка в течение одной смены (8 часов).

Задание 7. На вычислительном центре в обработку принимаются три класса заданий А, В и С. Исходя из наличия оперативной памяти ЭВМ задания классов А и В могут решаться одновременно, а задания класса С монополизируют ЭВМ. Задания класса А поступают через 20 ± 5 минут, класса В - через 20 ± 10 минут и класса С - через 30 ± 10 минут и требуют для выполнения : класс А – 20 ± 5 минут, класс В – 21 ± 3 минуты и класс С – 28 ± 5 минут. Задачи класса С загружаются в ЭВМ, если она полностью свободна. Задачи класса А и В могут дозагружаться к решаемой задаче.

Смоделировать работу ЭВМ за 80 часов.

Задание 8. На комплекточный конвейер сборочного цеха каждые 5 ± 1 минуты поступают 5 изделий первого типа и каждые 20 ± 7 минут поступают 20 изделий второго типа. Конвейер состоит из секций, вмещающих по 10 из-

делий каждого типа. Комплектация начинается только при наличии деталей обоих типов в требуемом количестве и длится 10 минут. При нехватке деталей секция конвейера остается пустой.

Смоделировать работу конвейера сборочного цеха в течение 8 часов.

Задание 9. На обрабатывающий участок цеха поступают детали через 30 ± 10 секунд, которые обрабатываются последовательно на двух станках. Первичная обработка деталей производится на первом станке, который обрабатывает деталь в среднем 20 ± 10 секунд, второй – соответственно 10 ± 5 секунд. Загрузка станков производится манипуляторами за 5 ± 2 секунды каждый; выгрузка автоматическая. В случае простоя второго станка на нем обрабатываются дополнительные детали, поступающие на него через 60 ± 10 секунд.

Смоделировать обработку на участке 500 деталей.

Задание 10. В машинный зал с интервалом времени 10 ± 5 минут заходят пользователи, желающие произвести расчеты на ЭВМ. В зале имеется одна ЭВМ, работающая в однопрограммном режиме. Время необходимое для решения задач характеризуется интервалом 15 ± 5 минут. Третья часть пользователей после окончания решения своей задачи производят вывод текста программы на перфоленту (продолжительность перфорации – 3 ± 2 минуты). В машинном зале не допускается, чтобы более семи пользователей ожидали своей очереди на доступ к ЭВМ. Вывод программы на перфоленту не мешает проведению расчетов на ЭВМ.

Смоделировать процесс обслуживания 100 пользователей.

Порядок выполнения.

1. Составить структурную схему моделируемой системы.
2. Составить Q-схему модели.
3. Построить блок-схему алгоритма функционирования системы.
4. Разработать программную модель на GPSS.
5. Провести машинный эксперимент с моделью.
6. Получить и интерпретировать результаты моделирования.

Литература: [5, 6, 7, 10, 13].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андриевский, Б.Р. Элементы математического моделирования в программных средах MATLAB 5 и Scilab / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. – Санкт-Петербург: Наука, 2000. – 227 с.
2. Глушаков, С.В. Математическое моделирование. Mathcad 2000 Professional. MATLAB 5.3 / С.В. Глушаков, И.А. Жакин, Т.С. Хачиров. – Харьков: Фолио; М.: АСТ, 2001. – 524 с.
3. Гультаев, А. Визуальное моделирование в среде MATLAB / А. Гультаев. – Санкт-Петербург: Питер, 2000. – 432 с.
4. Дьяконов, В. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование / В. Дьяконов. – Москва: Салон-Пресс, 2004. – 384 с.
5. Советов, Б.Я. Моделирование систем: учебник / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – Москва: Высш. шк., 2007. – 343 с.
6. Советов, Б.Я. Моделирование систем: практикум: учебное пособие для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высш. шк., 2003. – 295 с.
7. Моделирование систем: метод. указания к практикуму / сост.: В.Н. Тюкин. – Вологда: ВоГТУ, 2003. – 42 с. – Режим доступа: <http://www.library.vstu.edu.ru/>
8. Моделирование систем: метод. пособие к лабор. практикуму "Визуальное моделирование динамических систем в среде VisSim" / сост.: В.Н. Тюкин. – Вологда: ВоГТУ, 2008. – 53 с. – Режим доступа: <http://www.library.vstu.edu.ru/>
9. Теория автоматического управления: метод. указания к практикуму "Рук. пользователя комплекса программного обеспечения по курсу ТАУ и контрол. примеры" / сост.: В.Н. Тюкин, А.Н. Евстюхин. – Вологда: ВоГТУ, 2005. – 34 с. – Режим доступа: <http://www.library.vstu.edu.ru/>
10. Тюкин, В.Н. Моделирование систем: учеб. пособие / В.Н. Тюкин. – Вологда: ВоГТУ, 2009. – 134 с. – Режим доступа: <http://www.library.vstu.edu.ru/>
11. Тюкин, В.Н. Теория управления. Часть 1. Обыкновенные линейные системы управления / В.Н. Тюкин. – 2-е изд., испр. и доп. – Вологда: ВоГТУ, 2000. – 200. – Режим доступа: <http://www.library.vstu.edu.ru/>
12. Шеннон, Р. Имитационное моделирование – искусство и наука / Р. Шеннон. – Москва: Мир, 1978. – 418 с.
13. Шрайбер, Т.Дж. Моделирование на GPSS / Т.Дж.Шрайбер. – Москва: Машиностроение, 1980. – 592 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Рабочая программа, методические указания для самостоятельной работы
и контрольные задания

Оригинал-макет – О.М. Ванчугова

Подписано в печать 29.02.2016 г. Формат 60 × 84/16.

Усл. п. л. 1,5. Тираж экз. Заказ №

РИО ВоГУ. 160000, г. Вологда, ул. С. Орлова, 6.