Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 06.10.2023 15:59:32
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**УТВЕРЖДАЮ**
Декан факультета машиностроения
_____/ Е.В.Сафонов/
«_15_» _____ 2022 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# «Моделирование систем управления»

Направление подготовки

**15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств**

Образовательная программа (профиль подготовки)

**«Роботы и робототехнические устройства»**

Квалификация (степень) выпускника:

**Бакалавр**

Форма обучения:

**Очная**

Москва 2022 г.

Программа дисциплины «Моделирование систем управления» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» по профилю подготовки «Роботы и робототехнические устройства».

Программу составил:

_____Б.В. Кириличев – к.т.н., доцент кафедры «Автоматика и управление»

Программа дисциплины «Моделирование систем управления» по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и профилю подготовки «Роботы и робототехнические устройства» утверждена на заседании кафедры «Автоматика и управление»

«31» 8 2022 г. протокол № 1

Заведующий кафедрой

доцент, к.т.н. _____ /А.В. Кузнецов/

Программа согласована с руководителем образовательной программы по направлению подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», профиль подготовки «Роботы и робототехнические устройства»

_____ /В.В. Матросова/

«31» 08 2022 г.

Программа утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета машиностроения.

Председатель комиссии _____ /А.Н. Васильев/

«13» 09 2022 г. Протокол: 14-22

| | |
|---|---|
| Присвоен регистрационный номер: | **15.03.04.01/01.2021.** *027* |

# 1. Цели и задачи освоения дисциплины

## 1.1. Цели дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Моделирование систем управления» следует отнести:

– формирование у студентов знаний общих принципов, методов и средств моделирования автоматических и автоматизированных систем управления;

– подготовку студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра по направлению.

## 1.2. Задачи дисциплины

Ознакомление с основными понятиями, относящимися к моделированию систем управления;
Изучение основных принципов моделирования систем, свойств и видов моделей, их классификации;
Изучение математических моделей систем управления в переменных состояния и анализа с их помощью управляемости, и наблюдаемости систем управления.
Знакомство с методами и алгоритмами численного интегрирования дифференциальных уравнений, служащих моделями динамических систем управления.
Рассмотрение вопросов динамики развития и использования моделей систем.
Изучение вероятностных математических моделей систем массового обслуживания и сетей Петри.
Изучение методов имитационного моделирования сложных дискретных систем управления.
Рассмотрение вопросов обработки и интерпретации полученных результатов компьютерного моделирования с применением методов статистического анализа.

# 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Моделирование систем управления» относится к числу профессиональных учебных дисциплин обязательной части (Б1) базового цикла (Б1) основной образовательной программы бакалавриата. Она связана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

*В обязательной части Блока 1(Б1):*

- Высшая математика;
- Теория автоматического управления;
- Цифровая грамотность;
- Основы графических языков программирования систем управления;
- Программирование и основы алгоритмизации.

*В части формируемой участниками образовательных отношений Блока 1(Б1.2):*

- Проектирование систем управления.

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

| **Код компетенции** | **В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать** | **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине. Обучающийся должен** |
|---|---|---|
| ОПК-1 | Применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности | **Знать:**<br>- классификацию и основные виды моделей систем управления (СУ);<br>- методы и алгоритмы исследования линейных динамических моделей непрерывных и дискретных СУ;<br>- критерии полной управляемости и полной наблюдаемости линейных многомерных СУ;<br>- методы и алгоритмы численного интегрирования дифференциальных уравнений (ДУ);<br>- аналитические вероятностные математические модели СУ в виде систем массового обслуживания (СМО) и сетей Петри;<br>- правила и методику построения имитационных моделей (ИМ);<br>- критерии согласия для проверки статистических гипотез.<br>**Уметь:**<br>- осуществлять компьютерные эксперименты моделирования различных видов СУ на различных иерархических уровнях проектирования;<br>- разрабатывать различные математические модели СУ и ИМ;<br>- проводить предварительный анализ, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты компьютерного моделирования;<br>- применять статистические критерии согласия при обработке и анализе результатов компьютерного моделирования;<br>- составлять, моделировать и оптимизировать структурные схемы СУ;<br>- собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, |

| | | |
|---|---|---|
| | | диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством.<br>**Владеть:**<br>- навыками по практическому проведению вычислительных экспериментов с использованием стандартных программных средств;<br>- навыками по расчету и проектированию процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования. |

## 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, т.е. 288 академических часа (из них 126 часов аудиторных занятий, 162 часа – самостоятельная работа студентов).

Разделы дисциплины «Моделирование систем управления» изучаются на третьем курсе. В пятом семестре выделяется 36 часов лекций, 18 часов лабораторных работ и 18 часов практических занятий. В шестом семестре выделяется 18 часов лекций и 36 часов лабораторных работ.

**Пятый семестр:** лекции – 36 часов, лабораторные работы – 18 часов, практические и семинарские занятия – 18 часов, форма контроля – экзамен.

**Шестой семестр:** лекции – 18 часов, лабораторные работы – 36 часов, также в шестом семестре предусмотрена курсовая работа, форма контроля – экзамен.

Структура и содержание дисциплины «Моделирование систем управления» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

### Содержание разделов дисциплины

**Пятый семестр**

**Введение**

Предмет, задачи и содержание дисциплины. Основные положения, понятия и определения. Всеобщность моделирования. Материальные и абстрактные модели, виды подобия.

**Структура процесса моделирования**

Целенаправленность моделей. Модель процесса управления. Адаптивный алгоритм достижения цели управления. Свойства моделей: конечность, упрощенность, приближенность, адекватность, истинность, ингерентность. Способы реализации моделей. Материальные модели. Виды подобия: прямое, косвенное, условное. Идеальные модели. Языковые и знаковые модели. Семиотика.

**Классификация моделей**

Познавательные и прагматические, детерминированные и вероятностные, непрерывные и дискретные, статические и динамические, линейные и нелинейные, стационарные и нестационарные, сосредоточенные и распределенные модели.

**Кибернетические модели систем**

Сложные системы. Понятие эмерджентности. Система как средство достижения цели. Модель типа «черный ящик». Модели состава и структуры. Свойства и отношения. Способы задания бинарных отношений. Свосства бинарных отношений: рефлексивность, антирефлексивность, симметричность, асимметричность, антисимметричность, транзитивность, отрицательная транзитивность и сильная транзитивность. Отношения эквивалентности, порядка и доминирования. Модель принятия решений на основе бинарных отношений. Граф предпочтений.

**Графы и их свойства**

Разновидности графов. Основные структуры графов: линейная, древовидная (иерархическая), матричная, сетевая, кольцевая, звездообразная. Модель системы типа «прозрачный ящик». Структурные схемы СУ.

**Аналитические математические модели систем**

Общая математическая модель динамической системы. Вектор состояния, отображение выхода и переходное отображение. Частные математические модели динамических систем. Непрерывные системы. Линейные системы. Гладкие системы. Дискретные системы.

**Дискретные модели систем**

Конечные автоматы. Автоматы Мили и автоматы Мура. Детерминированные автоматы с памятью и без памяти. Синхронные и асинхронные автоматы. Вероятностные автоматы.

**Применение матрично-векторных моделей систем**

Векторы. Норма вектора. Внутреннее и внешнее произведения векторов. Неравенство треугольника и неравенство Шварца. Линейная независимость векторов. Особенная матрица. Вырожденность. Правило вырожденности Сильвестра. Определитель Грама. Линейное векторное пространство. Базис линейного векторного пространства.

**Управляемость и наблюдаемость систем управления**

Характеристические числа и характеристические векторы. Формула Бохера. Модальная матрица. Диагонализация квадратной матрицы. Управляемость линейной многомерной системы. Критерий полной управляемости. Наблюдаемость линейной многомерной системы. Критерий полной наблюдаемости.

**Компьютерное моделирование. Численное интегрирование дифференциальных уравнений**

Ошибки усечения и округления. Метод Эйлера и его модификации. Методы Рунге-Кутта. Сравнение различных методов решения. Контроль величины шага и вычислительная устойчивость алгоритмов.

**Динамика развития и использования моделей систем**

Жизненный цикл моделей. Сложности алгоритмизации моделирования. Противоречивость требований к моделям: полнота и простота, точность и размерность, эффективность и затраты на реализацию и др. Теория разрешимости Гёделя и Клини об универсальной программе создания модели для решения реальной задачи. Невозможность полной формализации процесса моделирования.

**Вероятностные математические модели систем.**

**Модели систем массового обслуживания (СМО)**

Заявки на обслуживание (транзакты) и обслуживающие аппараты (ОА). Модели СМО: одноканальные и многоканальные, с отказами, с ожиданием, с ограниченным временем ожидания, с восстановлением отказавших ОА. Дисциплины обслуживания: с приоритетами и без приоритетов. Простейший входной поток заявок и его свойства: ординарность, стационарность, отсутствие последействия. Характеристики простейшего потока заявок. Функция распределения времени ожидания прихода заявки и плотность распределения. Функция распределения Пуассона. Среднее время ожидания.

Характеристики обслуживания. Функция распределения времени обслуживания и соответствующая плотность распределения. Среднее время обслуживания. Показательный закон распределения времени обслуживания. Достоинства использования показательного закона распределения.

Показатели качества обслуживания. Вероятность потери заявки. Распределение величины очереди. Средняя величина очереди. Загрузка ОА. Согласование источника заявок с каналом обслуживания: синхронное и асинхронное. Согласование простейшего пуассоновского источника заявок: 1) с каналом, время обслуживания которого распределено по показательному закону; 2) с каналом, время обслуживания которого постоянно. Оценка эффективности многоканальной СМО. Уравнения Колмогорова и формула Эрланга. Критерии эффективности работы многоканальной СМО: вероятность отказа в обслуживании, относительная и абсолютная пропускная способность.

**Сети Петри**

Вершины, дуги и маркеры. Перемещение маркеров по сети (маркировка). События в сети Петри. Правила срабатывания переходов. Разновидности сетей Петри: временны*е*, стохастические, функциональные, цветные, ингибиторные.

Конфликтные ситуации в сетях Петри. Свойства сетей Петри: ограниченность, безопасность, сохраняемость, достижимость, живость. Анализ достижимости в сетях Петри.

**Шестой семестр**

**Имитационное моделирование (ИМ)**

Имитационные модели как алгоритмические поведенческие модели. Особенности и сферы применения, достоинства и недостатки имитационных моделей. Имитационный эксперимент, его содержание и результаты.

Основные фазы развития средств ИМ. Этапы ИМ. Альтернативные методологические подходы к построению имитационных моделей: событийный, сканирование активностей и процессно-ориентированный.

Преимущества и недостатки использования для создания имитационных моделей: универсальных языков программирования; специализированных языков моделирования; проблемно-ориентированных систем ИМ. Имитационное моделирование СМО. Схема реализации событийного метода ИМ СМО.

Метод «Ресурсы–действия–операции» (РДО). Основные положения метода РДО. Ресурсы сложной дискретной системы (СДС): постоянные и временные. Действия в СДС. Операции в СДС.

Базовая структура интеллектуальной системы на основе РДО-метода. Продукционный имитатор. Моделирование в среде РДО. Основные понятия: модель, прогон, проект, объект. Интегрированная среда моделирования РДО.

**Обработка и анализ результатов компьютерного моделирования**

Методы статистической оценки первого и второго центральных моментов случайной величины. Требования к оценкам, полученным в результате статистической обработки данных моделирования: несмещенность, эффективность и состоятельность.

Статистические методы обработки. Эргодическое свойство характеристик стационарных случайных процессов.

Задачи по проверке статистических гипотез. Критерии согласия Колмогорова, Пирсона, Смирнова, Стьюдента и Фишера.

**Анализ и интерпретация результатов компьютерного моделирования**

Корреляционный анализ результатов моделирования. Регрессионный анализ. Дисперсионный анализ. Сферы применения различных видов анализа результатов компьютерного моделирования.

## 5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Моделирование систем управления» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков, обучающихся:

- подготовка к выполнению лабораторных работ в лабораториях вуза;
- выполнение лабораторных работ в лабораториях вуза;
- организация и проведение текущего контроля знаний студентов в форме устного опроса;
- индивидуальное обсуждение и защита выполняемых этапов курсового проекта;
- проведение интерактивных занятий по подготовке к компьютерному;
- использование интерактивных форм текущего контроля в форме аудиторного компьютерного тестирования.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «Моделирование систем управления» и в целом по дисциплине составляет около 40% аудиторных занятий. Занятия лекционного типа составляют 42,8 % от объема аудиторных занятий.

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

В процессе обучения используются следующие оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций, оценочные формы самостоятельной работы студентов:

**В пятом семестре**

- индивидуальный опрос студентов;
- защита лабораторных работ;
- компьютерное тестирование по материалам лекций, практических и лабораторных работ в режиме промежуточного контроля с элементами подсказки и обучения;
- компьютерное тестирование по материалам лекций в режиме итогового контроля;
- зачет по материалам пятого семестра.

**В шестом семестре**

- индивидуальный опрос студентов;
- защита лабораторных работ;
- компьютерное тестирование по материалам лекций и лабораторных работ в режиме промежуточного контроля с элементами подсказки и обучения;
- выполнение курсовой работы (по индивидуальному заданию для каждого обучающегося);
- компьютерное тестирование по материалам курсовой работы и ее защита;
- компьютерное тестирование по материалам лекций в режиме итогового контроля;
- экзамен по материалам пятого и шестого семестров.

Курсовая работа представляет собой работу, посвященную имитационному моделированию СУ с использованием многоканальной системы массового обслуживания с целью выявления обслуживающих аппаратов с недостаточной пропускной способностью, определения вероятности возникновения отказов в обслуживании, очередей и других «узких мест». Курсовая работа выполняется в среде РДО («Ресурс–действие–операция»).

**Задание на курсовую работу «Имитационное моделирование системы массового обслуживания» по дисциплине: «Моделирование систем управления» (общие указания).**

1. Выбрать прототип системы массового обслуживания, представляющий для Вас интерес.
2. Определить, что в модели СМО будет служить в качестве заявок (транзакций), а что – в качестве обслуживающих аппаратов (ОА).
3. Указать, какой из видов моделей Вы используете: с отказами или с ожиданием, одноканальную или многоканальную и т.д.
4. В одном из экспериментов использовать простейший пуассоновский поток заявок и показательный закон распределения времени обслуживания с целью сравнения полученных данных имитационного эксперимента с аналитическими результатами, выведенными теоретически (на лекциях, в учебнике).
5. В других экспериментах использовать любые законы распределения, как времени ожидания, так и времени обслуживания, но впоследствии провести сравнительный анализ адекватности использованных моделей.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы, включенные в тесты достижений открытой формы.

### 6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю).

#### 6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

| Код компетенции | В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать |
|---|---|
| ОПК-1 | Применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности |

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

#### 6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания.

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

| Показатель | Критерии оценивания | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2 | 3 | 4 | 5 |
| **знать:** классификацию и основные виды моделей СУ; методы и алгоритмы исследования линейных динамических моделей непрерывных и дискретных СУ; критерии полной управляемости и полной наблюдаемости линейных многомерных СУ; методы и алгоритмы численного интегрирования ДУ; аналитические | Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: классификации и основных видов моделей СУ; методов и алгоритмов исследования линейных динамических моделей непрерывных и дискретных СУ; критериев полной управляемости и полной наблюдаемости линейных многомерных СУ; методов и | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: классификации и основных видов моделей СУ; методов и алгоритмов исследования линейных динамических моделей непрерывных и дискретных СУ; критериев полной управляемости и полной наблюдаемости линейных многомерных СУ; методов и алгоритмов | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: классификации и основных видов моделей СУ; методов и алгоритмов исследования линейных динамических моделей непрерывных и дискретных СУ; критериев полной управляемости и полной наблюдаемости линейных многомерных СУ; методов и алгоритмов | Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: классификации и основных видов моделей СУ; методов и алгоритмов исследования линейных динамических моделей непрерывных и дискретных СУ; критериев полной управляемости и полной наблюдаемости линейных многомерных СУ; методов и |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| вероятностные математические модели СУ в виде систем массового обслуживания (СМО) и сетей Петри; правила и методику построения имитационных моделей (ИМ) | алгоритмов численного интегрирования ДУ; аналитических вероятностных математических модели СУ в виде систем массового обслуживания (СМО) и сетей Петри; правил и методики построения имитационных моделей (ИМ). | численного интегрирования ДУ; аналитических вероятностных математических модели СУ в виде систем массового обслуживания (СМО) и сетей Петри; правил и методики построения имитационных моделей (ИМ). Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации. | численного интегрирования ДУ; аналитических вероятностных математических модели СУ в виде систем массового обслуживания (СМО) и сетей Петри; правил и методики построения имитационных моделей (ИМ). Допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях. | алгоритмов численного интегрирования ДУ; аналитических вероятностных математических модели СУ в виде систем массового обслуживания (СМО) и сетей Петри; правил и методики построения имитационных моделей (ИМ); свободно оперирует приобретенными знаниями. |
| **уметь**:<br>- осуществлять компьютерные эксперименты моделирования различных видов СУ на различных иерархических уровнях проектирования; разрабатывать различные математические модели СУ и ИМ;<br>- проводить предварительный анализ, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты компьютерного моделирования; составлять, моделировать и оптимизировать структурные схемы СУ;<br>- собирать и анализировать исходные информационные данные для | Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет осуществлять компьютерные эксперименты моделирования различных видов СУ на различных иерархических уровнях проектирования; разрабатывать различные математические модели СУ и ИМ; проводить предварительный анализ, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты компьютерного моделирования; составлять, моделировать и оптимизировать структурные схемы СУ. | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: осуществлять компьютерные эксперименты моделирования различных видов СУ на различных иерархических уровнях проектирования; разрабатывать различные математические модели СУ и ИМ; проводить предварительный анализ, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты компьютерного моделирования; составлять, моделировать и оптимизировать структурные схемы СУ. Допускаются | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: осуществлять компьютерные эксперименты моделирования различных видов СУ на различных иерархических уровнях проектирования; разрабатывать различные математические модели СУ и ИМ; проводить предварительный анализ, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты компьютерного моделирования; составлять, моделировать и оптимизировать структурные схемы СУ. | Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: осуществлять компьютерные эксперименты моделирования различных видов СУ на различных иерархических уровнях проектирования; разрабатывать различные математические модели СУ и ИМ; проводить предварительный анализ, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты компьютерного моделирования; составлять, моделировать и оптимизировать структурные схемы СУ. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством;<br>- участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования. | | значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации. | Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности. |
| **владеть:**<br>- навыками по практическому проведению вычислительных экспериментов с использованием стандартных программных средств;<br>- навыками по моделированию СУ; - навыками по сбору и анализу исходных информационных данных для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления | Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет<br>- навыками по практическому проведению вычислительных экспериментов с использованием стандартных программных средств;<br>- навыками по моделированию СУ; - навыками по сбору и анализу исходных информационных данных для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, | Обучающийся в недостаточной степени владеет<br>- навыками по практическому проведению вычислительных экспериментов с использованием стандартных программных средств;<br>- навыками по моделированию СУ; - навыками по сбору и анализу исходных информационных данных для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, | Обучающийся частично владеет навыками по практическому проведению вычислительных экспериментов с использованием стандартных программных средств;<br>- навыками по моделированию СУ; - навыками по сбору и анализу исходных информационных данных для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, | Обучающийся в полном объеме владеет навыками по практическому проведению вычислительных экспериментов с использованием стандартных программных средств; навыками по моделированию СУ; навыками по сбору и анализу исходных информационных данных для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством. | диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством. | испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством. Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях. | управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством. Навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством. Обучающийся свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности. |

**Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:**

**Форма промежуточной аттестации: экзамен.**

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю), методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Моделирование систем управления» (прошли промежуточный контроль, выполнили лабораторные работы, выполнили и защитили курсовую работу, прошли итоговое компьютерное тестирование).

| Шкала оценивания | Описание |
|---|---|
| Отлично | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности, не испытывает затруднений при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации. |
| Хорошо | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует частичное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации. |
| Удовлетворительно | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации. |
| Неудовлетворительно | Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует полное отсутствие или |

| | |
|---|---|
| | недостаточное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент не может оперировать знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации. |

Фонд оценочных средств представлен в приложении 2 к рабочей программе.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

**а) основная литература:**

1. Кириличев Б.В. Моделирование систем: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2010. – 274 с. ISBN 978-5-2760-1647-4.
2. Советов Б.Я, Яковлев С.А. Моделирование систем: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2001.– 343 с.: ил. ISBN 5-06-003860-2.

**б) дополнительная литература:**

1. Советов Б.Я, Яковлев С.А. Моделирование систем: Учебник. – Серия «Бакалавр. Академический курс» – М.: Юрайт, 2016. – 344 с. – ISBN 978-5-9916-3916-3.
2. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.: ил. ISBN 5-94723-981-7.

**в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

Интернет-ресурсы включают учебно-методические материалы в электронном виде, представленные на сайте http://lib.mami.ru/ebooks/ в разделе «Библиотека».

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Компьютерные классы кафедры «Автоматика и управление»: ауд. 2614ав, 2507ав.

Оборудование и аппаратура: проектор, ноутбук, материалы для лекций, практических и лабораторных работ, выполнения курсовой работы в электронном виде.

## 9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа является одним из видов учебных занятий. Цель самостоятельной работы – практическое усвоение студентами вопросов автоматизации управления жизненным циклом изделия, рассматриваемых в процессе изучения дисциплины.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

**Задачи самостоятельной работы студента:**

- развитие навыков самостоятельной учебной работы;
- освоение содержания дисциплины;
- углубление содержания и осознание основных понятий дисциплины;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий для эффективной подготовки к зачету.

**Виды внеаудиторной самостоятельной работы:**

- самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины;
- подготовка к лекционным занятиям;
- подготовка к лабораторным работам;
- подготовка к практическим занятиям.

Для выполнения любого вида самостоятельной работы необходимо пройти следующие этапы:

- определение цели самостоятельной работы;
- конкретизация познавательной задачи;
- самооценка готовности к самостоятельной работе;
- выбор адекватного способа действия, ведущего к решению задачи;
- планирование работы (самостоятельной или с помощью преподавателя) над заданием;
- осуществление в процессе выполнения самостоятельной работы самоконтроля (промежуточного и конечного) результатов работы и корректировка выполнения работы.

**Вопросы, выносимые на самостоятельную работу (ОПК-1)**

**Семестр 5**

- Программный пакет MathCAD. Структура, основные характеристики, возможности и области применения.
- Программный пакет Matlab. Структура, основные характеристики, возможности и области применения.
- Программный пакет SimInTech. Структура, основные характеристики, возможности и области применения.

## 10. Методические рекомендации для преподавателя

Основное внимание при преподавании дисциплины «Моделирование систем управления» следует уделять изучению методов и алгоритмов. Для активизации учебного процесса при изучении дисциплины эффективно применение презентаций по различным темам лекций.

Для проведения занятий по дисциплине используются средства обучения:

- учебники, тексты лекций с иллюстрациями и анимацией, информационные ресурсы Интернета;

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки бакалавров **15.03.04** «Автоматизация технологических процессов и производств», образовательная программа (профиль) «Роботы и робототехнические устройства».

Приложение 2
к рабочей программе

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление подготовки: 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
ОП (профиль): «Роботы и робототехнические устройства»
Форма обучения: очная
Вид профессиональной деятельности:
производственно-технологическая

Кафедра «Автоматика и управление»

# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

# ПО ДИСЦИПЛИНЕ

## Моделирование систем управления

Состав:
1. Паспорт фонда оценочных средств
2. Описание оценочных средств:
вариант экзаменационного билета
перечень вопросов для экзамена
образцы вопросов из фонда тестовых заданий
перечень вопросов для зачета
перечень лабораторных работ
перечень практических и семинарских занятий

**Составители:**

доцент, к.т.н. Кириличев Б.В.

Москва, 2022 год

| Моделирование систем управления | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Компетенции** | | **Перечень компонентов** | **Технология формирования компетенций** | **Форма оценочного средства**** | **Степени уровней освоения компетенций** |
| **Индекс** | **Формулировка** | | | | |
| **ОПК-1** | Применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности | **Знать:**<br>- классификацию и основные виды моделей систем управления (СУ);<br>- методы и алгоритмы исследования линейных динамических моделей непрерывных и дискретных СУ;<br>- критерии полной управляемости и полной наблюдаемости линейных многомерных СУ;<br>- методы и алгоритмы численного интегрирования дифференциальных уравнений (ДУ);<br>- аналитические вероятностные математические модели СУ в виде систем массового обслуживания (СМО) и сетей Петри;<br>- правила и методику построения имитационных моделей (ИМ)<br>**Уметь:**<br>- осуществлять компьютерные эксперименты моделирования | лекции, самостоятельная работа, семинары и практические занятия | ДС, Т, УО, Пр, ЛР | **Базовый уровень:** воспроизводство полученных знаний в ходе текущего контроля; умение решать типовые задачи, принимать профессиональные и управленческие решения по известным алгоритмам, правилам и методикам.<br>**Повышенный уровень:** практическое применение полученных знаний в процессе изучения дисциплины; готовность решать практические задачи повышенной сложности, нетиповые задачи, принимать профессиональные и управленческие решения в условиях неполной определенности, при недостаточном документальном, нормативном и методическом обеспечении. |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | различных видов СУ на различных иерархических уровнях проектирования;<br>- разрабатывать различные математические модели СУ и ИМ;<br>- проводить предварительный анализ, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты компьютерного моделирования;<br>- составлять, моделировать и оптимизировать структурные схемы СУ;<br>- собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством;<br>- участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования.<br>**Владеть:**<br>- навыками по практическому проведению вычислительных экспериментов с использованием стандартных программных средств;<br>- навыками по моделированию СУ;<br>- навыками по сбору и анализу исходных информационных данных для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством. | | | |

**Перечень оценочных средств по дисциплине «Моделирование систем управления»**

| № ОС | Наименование оценочного средства | Краткая характеристика оценочного средства | Представление оценочного средства в ФОС |
|---|---|---|---|
| 1 | Доклад, сообщение (ДС) | Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы | Темы докладов, сообщений |
| 2 | Устный опрос/ собеседование (УО) | Средство контроля, организованное как специальная беседа педагогического работника с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п. | Вопросы по темам/разделам дисциплины |
| 3 | Тест (Т) | Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося. | Фонд тестовых заданий |
| 4 | Презентация (ПР) | Представление студентом наработанной информации по заданной тематике в виде набора слайдов и спецэффектов, подготовленных в выбранной программе | Темы презентаций |
| 5 | Лабораторные работы (ЛР) | Оценка способности студента применить полученные ранее знания для проведения анализа, опыта, эксперимента и выполнения последующих расчетов, а также составления выводов | Перечень лабораторных работ и их оснащение |

**Вариант экзаменационного билета**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет машиностроения, кафедра «Автоматика и управление»
Дисциплина «Моделирование систем управления»
Образовательная программа 15.03.04
Автоматизация технологических процессов и производств,
ОП «Роботизированные комплексы»
Курс 3, семестр 5

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №5

1. Модель структуры системы. Графы и их разновидности. Топология моделей
2. Критерий полной наблюдаемости линейных многомерных систем.
3. Многоканальные СМО. Формула Эрланга и алгоритм ее вывода.

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «Автоматика и управление» Протокол № __ от “__” _____ 2022 г. Зав. кафедрой к.т.н., доцент Кузнецов А.В.

**Перечень вопросов к экзамену**

| **Текст вопроса** | **Код компетенции** |
|---|---|
| Определения модели. Модель как философская категория | ОПК-1 |
| Классификация моделей. Познавательные и прагматические, статические и динамические модели | ОПК-1 |
| Классификация моделей. Абстрактные и материальные модели | ОПК-1 |
| Знаковые модели и сигналы, языки | ОПК-1 |
| Подобие и его виды. Примеры прямого, косвенного и условного подобия | ОПК-1 |
| Реализация моделей. Ингерентность | ОПК-1 |
| Свойства моделей. Конечность, упрощенность, приближенность, адекватность, сходство, истинность и ложность. Полнота, точность и эффективность | ОПК-1 |
| Модели систем. Определения системы. Выявление целей системы | ОПК-1 |
| Модель типа «черный ящик» и ее свойства. Проблемы построения | ОПК-1 |
| Модель состава системы. Проблемы построения | ОПК-1 |
| Модель структуры системы. Свойство и отношение. Проблемы построения | ОПК-1 |
| Бинарные отношения и их свойства. Рефлексивность, симметричность, | ОПК-1 |

| | |
|---|---|
| транзитивность | |
| Антирефлексивность, асимметричность, отрицательная транзитивность | ОПК-1 |
| Отношения эквивалентности, порядка и доминирования | ОПК-1 |
| Модель структуры системы. Графы и их разновидности. Топология моделей | ОПК-1 |
| Типы динамических моделей. Модель типа «белый ящик» | ОПК-1 |
| Общая математическая модель динамики | ОПК-1 |
| Частные случаи общей динамической модели: дискретные, конечные автоматы, линейные, гладкие, стационарные системы | ОПК-1 |
| Принцип причинности реальных систем и условия физической реализуемости теоретических моделей | ОПК-1 |
| Векторно-матричные модели описания динамических многомерных линейных систем управления | ОПК-1 |
| Матрицы и линейные пространства. Линейная независимость. Вырожденность. Ранг. Правило вырожденности Сильвестра | ОПК-1 |
| Матрицы и линейные пространства. Определитель Грама | ОПК-1 |
| Характеристические числа и характеристические векторы | ОПК-1 |
| Характеристическое уравнение. Формула Бохера | ОПК-1 |
| Диагонализация квадратной матрицы. Модальная матрица | ОПК-1 |
| Функциональное пространство. Ортогональные функции как базис функционального пространства | ОПК-1 |
| Переменные состояния для описания линейных непрерывных систем | ОПК-1 |
| Представление линейных уравнений состояния при помощи матриц | ОПК-1 |
| Стандартная форма уравнений системы в переменных состояния | ОПК-1 |
| Нормальная форма уравнений системы в переменных состояния | ОПК-1 |
| Управляемость и наблюдаемость систем управления | ОПК-1 |
| Критерий полной управляемости линейных систем | ОПК-1 |
| Критерий полной наблюдаемости линейных систем | ОПК-1 |
| Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений. Ошибки усечения и округления | ОПК-1 |
| Одношаговые Сравнение различных методов численного интегрирования. Контроль величины шага и устойчивость методы решения задачи Коши. Метод Эйлера и его модификации | ОПК-1 |
| Одношаговые методы решения задачи Коши. Методы Рунге-Кутта различных порядков | ОПК-1 |
| Сравнение различных методов численного интегрирования. Контроль величины шага и устойчивость | ОПК-1 |
| Сравнение различных методов численного интегрирования. Контроль величины шага и устойчивость | ОПК-1 |
| Модели системного уровня проектирования. Системы массового обслуживания (СМО) | ОПК-1 |
| Бесприоритетные и приоритетные дисциплины обслуживания | ОПК-1 |
| Простейший поток заявок и его характеристики | ОПК-1 |
| Закон распределения вероятностей Пуассона | ОПК-1 |
| Экспоненциальный закон распределения вероятностей | ОПК-1 |
| Нормальный закон распределения вероятностей | ОПК-1 |
| Модели СМО с отказами. Примеры | ОПК-1 |
| Модели СМО с ожиданием. Примеры | ОПК-1 |
| Модели СМО с ненадежными обслуживающими приборами. Примеры | ОПК-1 |
| Характеристики канала обслуживания | ОПК-1 |
| Показатели качества обслуживания | ОПК-1 |
| Согласование источника заявок с обслуживающим прибором | ОПК-1 |

| | |
|---|---|
| Многоканальные СМО | ОПК-1 |
| Формула Эрланга и алгоритм ее вывода | ОПК-1 |
| Оценка эффективности СМО. Критерии эффективности | ОПК-1 |
| Модели системного уровня проектирования. Сети Петри | ОПК-1 |
| Разновидности сетей Петри: временные, стохастические, функциональные, цветные, ингибиторные | ОПК-1 |
| Свойства сетей Петри: ограниченность, безопасность, сохраняемость, достижимость, живость | ОПК-1 |
| Анализ достижимости сетей Петри | ОПК-1 |
| Имитационное моделирование (ИМ). Преимущества и недостатки ИМ. Причины широкого использования ИМ | ОПК-1 |
| Имитационный эксперимент, его содержание и результаты | ОПК-1 |
| Этапы имитационного моделирования | ОПК-1 |
| Использование для ИМ универсальных алгоритмических языков программирования | ОПК-1 |
| Использование для ИМ специализированных языков моделирования | ОПК-1 |
| Создание и использование для ИМ проблемно-ориентированных систем моделирования | ОПК-1 |
| Событийный метод моделирования | ОПК-1 |
| Процессный метод моделирования | ОПК-1 |
| Метод сканирования активностей | ОПК-1 |
| Сложные дискретные системы (СДС). Ресурсы, действия и операции в СДС | ОПК-1 |
| Нерегулярные события в СДС | ОПК-1 |
| Основные понятия и положения метода РДО | ОПК-1 |
| Состав и основные характеристики пакета СИИМ РДО | ОПК-1 |
| Оценки, используемые при проведении имитационных экспериментов со стохастическими моделями | ОПК-1 |
| Требования к оценкам, полученным в итоге статистической обработки результатов: несмещенность, эффективность, состоятельность | ОПК-1 |
| Эргодическое свойство стационарных случайных процессов | ОПК-1 |
| Коэффициент корреляции между случайными переменными | ОПК-1 |
| Критерий согласия Пирсона | ОПК-1 |
| Критерий согласия Колмогорова | ОПК-1 |
| Критерий согласия Смирнова | ОПК-1 |
| Критерий согласия Стьюдента | ОПК-1 |
| Критерий согласия Фишера | ОПК-1 |
| Корреляционный анализ. Его содержание, назначение и область применения | ОПК-1 |
| Регрессионный анализ. Его содержание, назначение и область применения | ОПК-1 |
| Дисперсионный анализ. Его содержание, назначение и область применения | ОПК-1 |

**Образцы вопросов из фонда тестовых заданий (ОПК-1)**

| № п/п | Текст вопроса | Варианты ответов |
|---|---|---|
| 1 | Выберите из списка модели прямого подобия | Карты |
| | | Деньги |
| | | Два ствола |
| | | Актрисы (и актеры) |
| | | Чертежи |
| | | Документы |
| 2 | Выберите из списка модели косвенного подобия | Деньги |
| | | Дифференциальные уравнения |
| | | Игрушки |
| | | Часы |
| 3 | При каких обстоятельствах карта местности может рассматриваться как прагматическая модель? | Топография |
| | | Поиск клада |
| | | Вырубка леса |
| | | Полет на самолете |
| | | Полет на воздушном шаре |
| 4 | Выберите из списка модели условного подобия | Деньги |
| | | Автопилот |
| | | Манекен |
| | | Картина |
| | | Дифференциальные уравнения |
| 5 | Что такое ингерентность модели? | Независимость от внешней среды |
| | | Согласованность с культурной средой |
| | | Недостаточность ресурсов |
| | | Не то, что когерентность |
| | | Несогласованность с внешней средой |
| 6 | Приведите пример динамической модели | Структурная схема |
| | | Алгебраическое уравнение |
| | | Импульсная переходная функция |
| | | Конечный автомат |
| | | Станковый пулемет |
| 7 | Что в дорожном знаке можно отнести к свойствам абстрактной модели? | Материал, из которого он изготовлен, люминофор и т.п |
| | | Место установки знака |
| | | Содержание, соответствующее его описанию в ПДД |
| | | То, что скажет Вам сотрудник ГИБДД при нарушении |
| 8 | Назовите преимущество имитационного моделирования? | Малый объем вычислений |
| | | Возможность исследовать сложные СУ |
| | | Достоверность результатов |
| | | |
| | | |

## Перечень практических занятий

| № п/п | Наименование | Оснащение | Кол-во часов |
|---|---|---|---|
| **5 семестр** | | | |
| **1** | Практическое занятие №1 Операции над матрицами. Сложение, умножение, транспонирование. Нахождение определителей разложением Лапласа, а также по правилу Саррюса (для матриц 3-го порядка). Свойства определителей. | | **2** |
| **2** | Практическое занятие №2 Миноры и алгебраические дополнения определителей. Нахождение присоединенной и обратной матриц. | | **2** |
| **3** | Практическое занятие №3 Получение модели линейной многомерной системы в переменных состояния из дифференциального уравнения *n*-го порядка. | | **2** |
| **4** | Практическое занятие №4 Векторы и векторные пространства. Скалярное и векторное произведения векторов. Ортогональные векторы. Неравенства. Линейная независимость векторов. Вырожденные матрицы. Дефект и ранг матриц. | | **2** |
| **5** | Практическое занятие №5 Характеристические числа и векторы. Формула Бохера. Решение характеристического уравнения и нахождение собственных значений матрицы объекта. | | **2** |
| **6** | Практическое занятие №6 Нахождение характеристических чисел из условия $\|\lambda E - A\|=0$. Нахождение модальной матрицы. Диагонализация квадратной матрицы. | | **2** |
| **7** | Практическое занятие №7 Определение управляемости и наблюдаемости системы 2-го порядка. | | **2** |
| **8** | Практическое занятие №8 Решение | | **2** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | задач на согласование источника заявок СМО с каналом обслуживания. | | |
| **9** | Практическое занятие №9 Показатели качества обслуживания многоканальной СМО. Решение задач на применение формулы Эрланга. | | **2** |
| | | **Итого часов в 5 семестре:** | **18** |

**Перечень лабораторных работ**

| **№ п/п** | **Наименование** | **Оснащение** | **Кол-во часов** |
|---|---|---|---|
| **5 семестр** | | | |
| **1** | Лабораторная работа №1 «Вычисления в пакете MathCAD. Решение систем алгебраических уравнений». | Программный комплекс MathCAD | **2** |
| **2** | Лабораторная работа №2 «Матрицы, векторы и графики в пакете MathCAD». | Программный комплекс MathCAD | **2** |
| **3** | Лабораторная работа №3 «Символьные вычисления и преобразования в MathCAD. Дифференцирование функций». | Программный комплекс MathCAD | **2** |
| **4** | Лабораторная работа №4 «Ознакомление с пакетом MatLab». | Программный комплекс MatLab | **2** |
| **5** | Лабораторная работа №5 «Матрицы и векторы в пакете MatLab» | Программный комплекс MatLab | **2** |
| **6** | Лабораторная работа №6 «Исследование управляемости и наблюдаемости линейных многомерных систем управления» | Программный комплекс «SimInTech» (МВТУ 3.7) | **4** |
| **7** | Лабораторная работа №7 «Визуализация данных и построение графиков в пакете MatLab» | Программный комплекс MatLab | **2** |
| **8** | Итоговое занятие. Защита лабораторных работ | | **2** |
| | | **Итого часов в 5 семестре:** | **18** |
| **6 семестр** | | | |
| **1** | Лабораторная работа №8. Моделирование случайных потоков заявок. Нерегулярные события в методе РДО. | Программный комплекс RAO-studio | **4** |
| **2** | Лабораторная работа №9. Моделирование в среде РДО случайных процессов, распределенных по нормальному, экспоненциальному, | Программный комплекс RAO-studio | **4** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | равномерному законам. | | |
| **3** | Лабораторная работа №10. Изучение трассировки прогона модели в среде РДО. | Программный комплекс RAO-studio | **4** |
| **4** | Лабораторная работа №11. Сбор показателей вида watch_state и вида watch_par в программе RAO-studio. | Программный комплекс RAO-studio | **4** |
| **5** | Лабораторная работа №12. Показатели типа get_value в программе RAO-studio. | Программный комплекс RAO-studio | **4** |
| **6** | Лабораторная работа №13. Программирование операций обслуживания в программе RAO-studio. | Программный комплекс RAO-studio | **4** |
| **7** | Лабораторная работа №14. Программирование разделов pat, rtp, rss и frm в программе RAO-studio. | Программный комплекс RAO-studio | **4** |
| **8** | Лабораторная работа №15. Программирование разделов fun, dpt, smr и pmd в программе RAO-studio. | Программный комплекс RAO-studio | **4** |
| **9** | Итоговое занятие. Защита лабораторных работ | Программный комплекс RAO-studio | **4** |
| | | **Итого часов в 6 семестре:** | **36** |

## Примерные вопросы к защите лабораторных работ

### К лабораторной работе №1

1. Назовите преимущества пакета MathCAD по сравнению с другими языками программирования при решении уравнений, построении графиков и т.д.
2. Перечислите главные части прикладного меню MathCAD.
3. Приведите примеры областей в MathCAD.
4. Порядок ввода выражений и текста в MathCAD.
5. Назовите способ прочтения выражения в MathCAD.
6. Назовите виды констант в MathCAD и их отличие.
7. Приведите примеры применения констант.
8. Определение функций.
9. Приведите пример определения функции MathCAD.
10. Опишите меню MathCAD.
11. Формат и точность вычислений в MathCAD.
12. Работа справочной системы MathCAD.
13. Объясните назначение символов = ; := ; ═ ; → ; ≡.
14. Каков порядок ввода выражений?
15. Что обозначают ключевые слова Given…Find( )?
16. Синтаксис функций Find и Minerr?
17. Различие в применении Find и Minerr?
18. Что необходимо для успешного решения систем алгебраических уравнений?
19. В чем различие символьного и численного решений?
20. Построение простейшего графика функции.

**К лабораторной работе №2**

1. Дайте определение массивов в MathCAD.
2. Использование функции ORIGIN.
3. Сортировка элементов матрицы.
4. Назовите способы создания массивов в MathCAD.
5. Назовите операторы работы с матрицами MathCAD.
6. Приведите пример параллельного решения квадратного уравнения для нескольких входных коэффициентов с использованием векторизации.
7. Что необходимо для решения систем уравнений с помощью матриц в MathCAD.
8. Приведите примеры действий над матрицами.
9. Какие векторные действия можно производить с матрицами?
10. Какие скалярные операции можно производить с матрицами?
11. Решение систем линейных уравнений с помощью матриц.
12. Дайте определения детерминанта матрицы.
13. Назовите, в каких видах систем координат в MathCAD выполняются построения графиков?
14. Перечислите виды графиков в MathCAD.
15. Что такое ранжированная переменная, её свойства, способы задания?
16. Как построить график нескольких функций?
17. Перечислите виды трехмерных и двухмерных графиков.
18. Как производится форматирование графиков?
19. Сколько кривых можно построить на одном X-Y графике?

**К лабораторной работе №3**

1. Какое меню в системе MathCAD следует использовать при решении уравнений в символьном виде?
2. Как задать вывод определенного числа значащих цифр при выводе результата?
3. С помощью каких операторов можно разложить выражение на множители или по степеням?
4. Как разложить слагаемые по подвыражению, относительно заданного члена выражения?
5. Дайте определения полинома. Как вычислить коэффициент полинома?
6. С какими математическими рядами работает MathCAD.
7. Дайте определение производной.
8. Какое меню в математической палитре используют для решения дифференциальных уравнений.
9. Опишите методы символьной и численной оценки производных, отметьте, в чем сходство и в чем различия.
10. Перечислите некоторые правила дифференцирования.

Приложение 1

# Структура и содержание дисциплины «Моделирование систем управления» по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и профилю подготовки «Роботы и робототехнические устройства»

| № № п/п | Раздел | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах | | | | | Виды самостоятельной работы студентов | | | | Формы аттестации | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Л | П/С | Лаб | СРС | КСР | ПЛР | СИ | Реф | КР | Э | З |
| **Семестр 5** | | | | | | | | | | | | | | |
| **1.1** | **Введение**. Предмет, задачи и содержание дисциплины. Основные положения, понятия и определения. Всеобщность моделирования. Материальные и абстрактные модели, виды подобия: прямое, косвенное, условное. | **5** | **1** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.2** | Лабораторная работа №1 «Вычисления в пакете MathCAD. Решение систем алгебраических уравнений». | **5** | **1** | | | **2** | | | **2** | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.3** | **Структура процесса моделирования**. Целенаправленность моделей. Модель процесса управления. Адаптивный алгоритм достижения цели управления. Свойства моделей. Способы реализации моделей. Материальные модели. Идеальные модели. Языковые и знаковые модели. Семиотика. | **5** | **2** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.4** | Практическое занятие №1 Операции над матрицами. Сложение, умножение, транспонирование. Нахождение определителей разложением Лапласа, а также по правилу Саррюса (для матриц 3-го порядка). Свойства определителей. | **5** | **2** | | **2** | | | | | | | | | |
| **1.5** | **Классификация моделей.** Модели познавательные и прагматические, детерминированные и вероятностные, непрерывные и дискретные, статические и динамические, линейные и нелинейные, стационарные и нестационарные, сосредоточенные и распределенные. | **5** | **3** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.6** | Лабораторная работа №2 «Матрицы, векторы и графики в пакете MathCAD» | **5** | **3** | | | **2** | | | **2** | | | | | |
| **1.7** | **Кибернетические модели систем.** Сложные системы. Понятие эмерджентности. Система как средство достижения цели. Модель типа «черный ящик». Модели состава и структуры. Свойства и отношения. Способы задания бинарных отношений. Свосства бинарных отношений. Отношения эквивалентности, | **5** | **4** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | порядка и доминирования. Модель принятия решений на основе бинарных отношений. Граф предпочтений. Модель системы типа «прозрачный ящик». Структурные схемы СУ. | | | | | | | | | | | | | |
| **1.8** | Практическое занятие №2 Миноры и алгебраические дополнения определителей. Нахождение присоединенной и обратной матриц. | **5** | **4** | | **2** | | | | | | | | | |
| **1.9** | **Графовые модели и их свойства.** Разновидности графов. Основные структуры графов: линейная, древовидная (иерархическая), матричная, сетевая, кольцевая, звездообразная. | **5** | **5** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.10** | Лабораторная работа №3 «Символьные вычисления и преобразования в MathCAD. Дифференцирование функций» | **5** | **5** | | | **2** | | | **2** | | | | | |
| **1.11** | **Аналитические математические модели систем.** Общая математическая модель динамической системы. Вектор состояния, отображение выхода и переходное отображение. Частные математические модели динамических систем. Непрерывные системы. Линейные системы. Гладкие системы. Дискретные системы. | **5** | **6** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.12** | Практическое занятие №3 Получение модели линейной многомерной системы в переменных состояния из дифференциального уравнения *n*-го порядка. | **5** | **6** | | **2** | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1.13** | **Дискретные модели систем.** Конечные автоматы. Автоматы Мили и автоматы Мура. Детерминированные автоматы с памятью и без памяти. Синхронные и асинхронные автоматы. Вероятностные автоматы. | **5** | **7** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.14** | Лабораторная работа №4 «Ознакомление с пакетом MatLab» | **5** | **7** | | | **2** | | | **2** | | | | | |
| **1.15** | **Применение матрично-векторных моделей систем.** Векторы. Норма вектора. Единичный вектор. Внутреннее и внешнее произведения векторов. Неравенство треугольника и неравенство Шварца. Линейная независимость векторов. Особенная матрица. Вырожденность. Правило вырожденности Сильвестра. Определитель Грама. Линейное векторное пространство. Базис линейного векторного пространства. | **5** | **8** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.16** | Практическое занятие №4 Векторы и векторные пространства. Скалярное (внутреннее) произведение векторов. Ортогональные векторы. Векторное (внешнее) произведение векторов. Неравенства. Линейная независимость векторов. Вырожденные матрицы. Дефект и ранг матриц. | **5** | **8** | | **2** | | | | | | | | | |
| **1.17** | **Управляемость и наблюдаемость систем управления.** Характеристические числа и характеристические векторы. Формула Бохера. Модальная матрица. Диагонализация | **5** | **9** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | квадратной матрицы. | | | | | | | | | | | | | |
| **1.18** | Лабораторная работа №5 «Матрицы и векторы в пакете MatLab» | **5** | **9** | | | **2** | | | **2** | | | | | |
| **1.19** | **Управляемость и наблюдаемость систем управления.** Управляемость линейной многомерной системы. Критерий полной управляемости. Наблюдаемость линейной многомерной системы. Критерий полной наблюдаемости. | **5** | **10** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.20** | Практическое занятие №5 Характеристические числа и векторы. Формула Бохера. Решение характеристического уравнения и нахождение собственных значений матрицы объекта. | **5** | **10** | | **2** | | | | | | | | | |
| **1.21** | **Численное интегрирование дифференциальных уравнений**. Ошибки усечения и округления. Метод Эйлера и его модификации. Методы Рунге-Кутта. Сравнение различных методов решения. Контроль величины шага и вычислительная устойчивость алгоритмов. | **5** | **11** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.22** | Лабораторная работа №6 «Исследование управляемости и наблюдаемости линейных многомерных систем управления» | **5** | **11** | | | **2** | | | **2** | | | | | |
| **1.23** | **Динамика развития и использования моделей систем.** Жизненный цикл моделей. Сложности алгоритмизации моделирования. Противоречивость требований к моделям: полнота и простота, точность и размерность, | **5** | **12** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | эффективность и затраты на реализацию и др. Невозможность полной формализации процесса моделирования. | | | | | | | | | | | | | |
| **1.24** | Практическое занятие №6 Нахождение характеристических чисел из условия $\|\lambda E - A\| = 0$. Нахождение модальной матрицы. Диагонализация квадратной матрицы. | **5** | **12** | | **2** | | | | | | | | | |
| **1.25** | **Модели систем массового обслуживания.** Заявки на обслуживание (транзакты) и обслуживающие аппараты (ОА). Разновидности моделей СМО. Дисциплины обслуживания. Простейший входной поток заявок и его характеристики. Функция распределения времени ожидания прихода заявки и плотность распределения. Функция распределения Пуассона. Среднее время ожидания. | **5** | **13** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.26** | Лабораторная работа №6 «Исследование управляемости и наблюдаемости линейных многомерных систем управления» (продолжение) | **5** | **13** | | | **2** | | | **2** | | | | | |
| **1.27** | **Модели СМО.** Характеристики обслуживания. Функция распределения времени обслуживания и соответствующая плотность распределения. Среднее время обслуживания. Показательный закон распределения времени обслуживания. | **5** | **14** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.28** | Практическое занятие №7 Определение управляемости и наблюдаемости системы 2-го | **5** | **14** | | **2** | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | порядка. | | | | | | | | | | | | | |
| **1.29** | **Модели систем массового обслуживания.** Показатели качества обслуживания. Вероятность потери заявки. Распределение величины очереди. Средняя величина очереди. Загрузка ОА. Согласование источника заявок с каналом обслуживания: синхронное и асинхронное. | **5** | **15** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.30** | Лабораторная работа №7 «Визуализация данных и построение графиков в пакете MatLab» | **5** | **15** | | | **2** | | | **2** | | | | | |
| **1.31** | **Модели систем массового обслуживания.** Два случая согласования простейшего пуассоновского источника заявок с каналом обслуживания. Оценка эффективности многоканальной СМО. Уравнения Колмогорова и формула Эрланга. Критерии эффективности работы многоканальной СМО. | **5** | **16** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.32** | Практическое занятие №8 Решение задач на согласование источника заявок СМО с каналом обслуживания. | **5** | **16** | | **2** | | | | | | | | | |
| **1.33** | **Сети Петри.** Вершины, дуги и маркеры. Перемещение маркеров по сети (маркировка). События в сети Петри. Правила срабатывания переходов. Разновидности сетей Петри: | **5** | **17** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | временны*е*, стохастические, функциональные, цветные, ингибиторные. | | | | | | | | | | | | | |
| **1.34** | Итоговое занятие. Защита лабораторных работ | **5** | **17** | | | **2** | | | **2** | | | | | |
| **1.35** | **Конфликтные ситуации в сетях Петри.** Свойства сетей Петри: ограниченность, безопасность, сохраняемость, достижимость, живость. Анализ достижимости в сетях Петри. | **5** | **18** | **2** | | | **2,5** | | | | | | | |
| **1.36** | Практическое занятие №9 Показатели качества обслуживания многоканальной СМО. Решение задач на применение формулы Эрланга. | **5** | **18** | | **2** | | | | | | | | | |
| | **Форма аттестации** | | | | | | | | | | | | Э | |
| | Всего часов по дисциплине в пятом семестре | | | **36** | **18** | **18** | **90** | | **18** | | | | | |
| **Семестр 6** | | | | | | | | | | | | | | |
| **2.1** | **Имитационное моделирование (ИМ).** Имитационные модели как алгоритмические поведенческие модели. Особенности и сферы применения, достоинства и недостатки имитационных моделей. Имитационный эксперимент, его содержание и результаты. | **6** | **1,2** | **2** | | | **4** | | | | | **10** | | |
| **2.2** | Лабораторная работа №8. Моделирование случайных потоков заявок. Нерегулярные события в методе РДО. | **6** | **1,2** | | | **4** | **4** | | | | | | | |
| **2.3** | **Имитационное моделирование.** Основные фазы развития средств ИМ. Этапы ИМ. Альтернативные методологические подходы к построению имитационных моделей: | **6** | **3,4** | **2** | | | **4** | | | | | **10** | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | событийный, сканирование активностей и процессно-ориентированный. | | | | | | | | | | | | | |
| **2.4** | Лабораторная работа №9. Моделирование в среде РДО случайных процессов, распределенных по нормальному, экспоненциальному, равномерному законам. | **6** | **3,4** | | | **4** | **4** | | | | | | | |
| **2.5** | **Имитационное моделирование.** Преимущества и недостатки использования для создания имитационных моделей: универсальных языков программирования; специализированных языков моделирования; проблемно-ориентированных систем ИМ. Имитационное моделирование СМО. Схема реализации событийного метода ИМ СМО. | **6** | **5,6** | **2** | | | **4** | | | | | **10** | | |
| **2.6** | Лабораторная работа №10. Изучение трассировки прогона модели в среде РДО. | **6** | **5,6** | | | **4** | **4** | | | | | | | |
| **2.7** | **Имитационное моделирование.** Метод «Ресурсы–действия–операции» (РДО). Основные положения метода РДО. Ресурсы сложной дискретной системы (СДС): постоянные и временные. Действия в СДС. Операции в СДС. | **6** | **7,8** | **2** | | | **4** | | | | | **10** | | |
| **2.8** | Лабораторная работа №11. Сбор показателей вида watch_state и вида watch_par в программе RAO-studio. | **6** | **7,8** | | | **4** | **4** | | | | | | | |
| **2.9** | **Имитационное моделирование.** Базовая структура интеллектуальной системы на основе РДО-метода. Продукционный имитатор. Моделирование в среде РДО. Основные понятия: модель, прогон, проект, объект. Интегрированная среда моделирования РДО. | **6** | **9,10** | **2** | | | **4** | | | | | **10** | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2.10** | Лабораторная работа №12. Показатели типа get_value в программе RAO-studio. | **6** | **9,10** | | | **4** | **4** | | | | | | | |
| **2.11** | **Обработка и анализ результатов компьютерного моделирования.** Методы статистической оценки первого и второго центральных моментов случайной величины. Требования к оценкам, полученным в результате статистической обработки данных моделирования: несмещенность, эффективность и состоятельность. | **6** | **11,12** | **2** | | | **4** | | | | | **10** | | |
| **2.12** | Лабораторная работа №13. Программирование операций обслуживания в программе RAO-studio. | **6** | **11,12** | | | **4** | **4** | | | | | | | |
| **2.13** | **Обработка и анализ результатов компьютерного моделирования.** Статистические методы обработки. Эргодическое свойство характеристик стационарных случайных процессов. | **6** | **13,14** | **2** | | | **4** | | | | | **10** | | |
| **2.14** | Лабораторная работа №14. Программирование разделов pat, rtp, rss и frm в программе RAO-studio. | **6** | **13,14** | | | **4** | **4** | | | | | | | |
| **2.15** | **Обработка и анализ результатов компьютерного моделирования.** Задачи по проверке статистических гипотез. Критерии согласия Колмогорова, Пирсона, Смирнова, Стьюдента и Фишера. | **6** | **15,16** | **2** | | | **4** | | | | | **10** | | |
| **2.16** | Лабораторная работа №15. Программирование разделов fun, dpt, smr и pmd в программе RAO-studio. | **6** | **15,16** | | | **4** | **4** | | | | | | | |
| **2.17** | **Анализ и интерпретация результатов компьютерного моделирования.** | **6** | **17,18** | **2** | | | **4** | | | | | **10** | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Корреляционный анализ результатов моделирования. Регрессионный анализ. Дисперсионный анализ. Сферы применения различных видов анализа результатов компьютерного моделирования. | | | | | | | | | | | | | |
| **2.18** | Выполнение лабораторных работ. Защита лабораторных работ. | **6** | **17,18** | | | **4** | **4** | | | | | | | |
| | **Форма аттестации** | | | | | | | | | | | | Э | |
| | Всего часов по дисциплине в шестом семестре | | | **18** | | **36** | **72** | | | | | **90** | | |