

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»
(ТвГТУ)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор
по учебной работе
_____ Э.Ю. Майкова
« ____ » _____ 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины обязательной части
Блока 1 «Дисциплины (модули)»
«Моделирование систем управления»

Направление подготовки бакалавров 27.03.04 Управление в технических системах

Направленность (профиль) – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Типы задач профессиональной деятельности – проектно-конструкторский, сервисно-эксплуатационный

Форма обучения – очная, заочная

Факультет информационных технологий
Кафедра «Автоматизация технологических процессов»

Тверь 2021

Рабочая программа дисциплины соответствует ОХОП подготовки бакалавров в части требований к результатам обучения по дисциплине и учебному плану.

Разработчик программы: профессор кафедры АТП _____ Н.Н. Филатова

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры АТП
« ____ » _____ 2021 г., протокол № ____.

Заведующий кафедрой АТП _____ Б.И. Марголис

Согласовано
Начальник учебно-методического
отдела УМУ _____ Д.А. Барчуков

Начальник отдела
комплектования
зональной научной библиотеки _____ О.Ф. Жмыхова

1. Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины «Моделирование систем управления» является получение студентами знаний по основам построения и анализа моделей систем управления техническими объектами и их использования на практике, формирование готовности к активной профессиональной и социальной деятельности, системность профессионального мышления, инновационной открытости, способности к самостоятельному приращению имеющихся знаний, способностью адаптироваться к изменяющимся условиям профессиональной деятельности.

Объектами изучения являются методы построения математических моделей, а также методики численного анализа моделей с применением компьютерных технологий.

Задачами дисциплины являются:

- **изучение** методов исследования систем управления с помощью различных видов математических моделей;
- **формирование** умений и навыков, необходимых для реализации математических моделей систем управления в системе МатЛаб;
- **формирование** умений и навыков, необходимых для проведения вычислительных экспериментов.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Моделирование систем управления» относится к обязательной части Блока 1 ОП ВО.

Для освоения этой дисциплины студенты используют знания, умения и навыки, сформированные в ходе изучения дисциплин: «Математика», «Информатика», «Физика», «Химия», «Электротехника», «Электроника», «Программирование и основы алгоритмизации», «Теория автоматического управления».

Приобретенные знания студент сможет использовать при изучении специальных дисциплин профессионального цикла и профильной направленности: «Автоматизация технологических процессов и производств», «Проектирование автоматизированных систем», «Методы оптимального управления», «Автоматизированные информационно-управляющие системы».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

3.1 Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенции, закрепленные за дисциплиной в ОХОП:

УК-6. Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.

ОПК-4. Способен осуществлять оценку эффективности систем управления, разработанных на основе математических методов.

ОПК-9. Способен выполнять эксперименты по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств.

Индикаторы компетенций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:

ИУК-6.1. Реализует намеченные цели с учетом условий, средств, личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда.

ИОПК-4.1. Определяет и формулирует критерии оценки эффективности систем управления на основе математических методов.

ИОПК-4.2. Использует автоматизированные системы и компьютерные технологии для оценки эффективности систем управления, разработанных на основе математических методов.

ИОПК-9.1. Выполняет эксперименты по заданным методикам с применением современных информационных технологий и технических средств.

Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций

Знать:

31. Математические модели элементов и систем управления технологическими процессами.

32. Компьютерные модели элементов систем управления и производственных процессов с использованием объектно-ориентированных технологий.

Уметь:

У1. Производить расчеты, сравнительный анализ и выбор блоков моделей АСУТП.

У2. Реализовывать математические модели БТС в виде программы для ЭВМ.

У3. Проводить расчеты по проверке адекватности математических моделей элементов и систем управления технологическими процессами.

У4. Использовать пакеты прикладных программ для проведения моделирования в процессе предпроектных исследований АСУТП.

3.2. Технологии, обеспечивающие формирование компетенций

Проведение лекционных, практических занятий, лабораторных работ, самостоятельная работа под руководством преподавателя, выполнение курсовой работы.

4. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 1а. Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной работы

| Вид учебной работы | Зачетные единицы | Академические часы |
|---|-------------------------|---------------------------|
| Общая трудоемкость дисциплины | 4 | 144 |
| Аудиторные занятия (всего) | | 75 |
| В том числе: | | |
| Лекции | | 30 |
| Практические занятия (ПЗ) | | 15 |
| Лабораторные работы (ЛР) | | 30 |
| Самостоятельная работа обучающихся (всего) | | 69=33+36 (экз.) |
| В том числе: | | |
| Курсовая работа | | 18 |
| Курсовой проект | | не предусмотрен |
| Расчетно-графические работы | | не предусмотрены |
| Реферат | | не предусмотрен |

| | | |
|---|--|-------------|
| Другие виды самостоятельной работы: - изучение теоретической части дисциплины - подготовка к защите лабораторных работ - выполнение заданий по практическим занятиям | | 6 5 4 |
| Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация (экзамен) | | 36 (экз.) |
| Практическая подготовка при реализации дисциплины (всего) | | 0 |

ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 1б. Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной работы

| Вид учебной работы | Зачетные единицы | Академические часы |
|---|------------------|-------------------------|
| Общая трудоемкость дисциплины | 4 | 144 |
| Аудиторные занятия (всего) | | 10 |
| В том числе: | | |
| Лекции | | 4 |
| Практические занятия (ПЗ) | | 2 |
| Лабораторные работы (ЛР) | | 4 |
| Самостоятельная работа обучающихся (всего) | | 134=125+9 (экз.) |
| В том числе: | | |
| Курсовая работа | | 75 |
| Курсовой проект | | не предусмотрен |
| Расчетно-графические работы | | не предусмотрены |
| Реферат | | не предусмотрен |
| Другие виды самостоятельной работы: - изучение теоретической части дисциплины - подготовка к защите лабораторных работ - выполнение заданий по практическим занятиям | | 20 16 14 |
| Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация (экзамен, зачет) | | 9 (экз.) |
| Практическая подготовка при реализации дисциплины (всего) | | 0 |

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Структура дисциплины

ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 2а. Модули дисциплины, трудоемкость в часах и виды учебной работы

| № | Наименование модуля | Труд-ть, часы | Лекции | Практич. занятия | Лаб. работы | Сам. работа |
|---|---|---------------|--------|------------------|-------------|-------------|
| 1 | Введение. Основные понятия теории моделирования | 16 | 4 | 2 | | 4+6 (экз.) |
| 2 | Программно-инструментальные средства моделирования | 25 | 2 | 5 | 6 | 6+6 (экз.) |
| 3 | Математические модели технологических объектов | 28 | 6 | 4 | 6 | 6+6 (экз.) |
| 4 | Экспериментально-статистические методы построения моделей | 28 | 6 | 2 | 8 | 6+6 (экз.) |

| | | | | | | |
|----------------------------|--|------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|
| 5 | Типовые задачи анализа математических моделей объектов и систем управления | 22 | 6 | | 4 | 6+6 (экз.) |
| 6 | Имитационное моделирование систем управления | 25 | 6 | 2 | 6 | 5+6 (экз.) |
| Всего на дисциплину | | 144 | 30 | 15 | 30 | 33+36 (экз.) |

ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 26. Модули дисциплины, трудоемкость в часах и виды учебной работы

| № | Наименование модуля | Труд-ть, часы | Лекции | Практич. занятия | Лаб. работы | Сам. работа |
|----------------------------|--|---------------|----------|------------------|-------------|---------------------|
| 1 | Введение. Основные понятия теории моделирования | 16 | | 1 | | 15 |
| 2 | Программно-инструментальные средства моделирования | 27 | 1 | | 1 | 23+2 (экз.) |
| 3 | Математические модели технологических объектов | 27 | 1 | | 1 | 23+2 (экз.) |
| 4 | Экспериментально-статистические методы построения моделей | 27 | 1 | | 1 | 23+2 (экз.) |
| 5 | Типовые задачи анализа математических моделей объектов и систем управления | 27 | 1 | | 1 | 23+2 (экз.) |
| 6 | Имитационное моделирование систем управления | 20 | | 1 | | 18+1 (экз.) |
| Всего на дисциплину | | 144 | 4 | 2 | 4 | 125+9 (экз.) |

5.2. Содержание дисциплины

МОДУЛЬ 1 «Введение. Основные понятия теории моделирования»

Моделирование, как способ исследования сложных технических систем. Задачи и цели моделирования. Применение моделирования на разных этапах жизненного цикла системы управления технологическим объектом. Виды моделирования: физическое, математическое, имитационное. Понятие объекта моделирования. Классификация математических моделей. Основные этапы разработки математической модели. Характеристика основных классов методов составления математических моделей. Понятие об адекватности математической модели.

МОДУЛЬ 2 «Программно-инструментальные средства моделирования»

Классификация программных средств, применяемых для моделирования системы управления технологическим объектом. Универсальные пакеты и программные системы. Верификация моделирующих программ. Процедуры сравнения модельных и системных выходных данных. Анализ и интерпретация выходных данных.

МОДУЛЬ 3 «Математические модели технологических объектов»

Этапы математического моделирования; принципы построения и основные требования к математическим моделям систем; цели и задачи исследования математических моделей систем; общая схема разработки математических моделей. Принципы построения математического описания объектов управления на основе универсальных законов сохранения (массы, энергии, механического импульса). Понятие о допущениях. Типовые модели структуры потоков в технологических аппаратах, модели для описания тепловых процессов, кинетических процессов. Линеаризация уравнений математической модели. Методы упрощения математических моделей. Обобщенная схема разработки математической модели.

МОДУЛЬ 4 «Экспериментально-статистические методы построения моделей»

Понятие пассивного и активного экспериментов. Уравнение регрессии. Применение метода наименьших квадратов для оценки коэффициентов модели. Построение многофакторных линейных моделей. Проверка адекватности (или точности аппроксимации) математической модели с помощью критерия Фишера. Построение нелинейных моделей объекта на основе уравнения параболической регрессии, уравнения трансцендентной регрессии, на основе мультипликативной свертки (метод Брандона). Планирование эксперимента: полный и дробный факторный эксперименты. Математические модели на основе ортогонального центрального композиционного плана.

МОДУЛЬ 5 «Типовые задачи анализа математических моделей объектов и систем управления»

Общая характеристика типовых задач численного анализа математических моделей объектов управления. Методы анализа динамических, статических режимов работы объекта, методы оценки чувствительности объекта к малым параметрическим возмущениям. Общая характеристика задач исследования математических моделей систем управления.

МОДУЛЬ 6 «Имитационное моделирование систем управления»

Формализация процесса функционирования системы; понятие агрегативной модели; формы представления математических моделей. Имитационное моделирование, как способ исследования систем управления. Основные этапы имитационного моделирования. Построение концептуальной и алгоритмической моделей. Испытание и эксплуатация имитационных моделей: основные этапы и их характеристика, задание исходной информации для моделирования; оценка точности и достоверности результатов моделирования; анализ и интерпретация результатов моделирования. Технические и программные средства моделирования.

5.3 Лабораторные работы ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 3а. Лабораторные работы и их трудоемкость

| Порядковый номер модуля. Цели лабораторных работ | Наименование лабораторных работ | Трудоем- кость в часах |
|--|---|------------------------------|
| Модуль 2 Цель: формирование навыков составления программ для работы с МатЛаб | Разработка М-файла для построения статических характеристик систем | 3 |
| | Разработка М-файла для оценки статистических характеристик объектов (оценки математического ожидания, дисперсии и др.) | 3 |
| Модуль 3 Цель: формирование навыков анализа статической модели объекта управления | Построение вычислительного алгоритма анализа статического режима работы объекта с сосредоточенными координатами (на основе модели динамики и модели статики). | 2 |
| | Построение вычислительного алгоритма анализа статического режима работы объекта с распределенными координатами (на основе модели статики). | 2 |
| | | 2 |
| Модуль 4 Цель: сформирование навыков построения моделей статистическими методами | Построение линейных моделей объекта по данным пассивного эксперимента (при $n=1$). | 2 |
| | Построение линейных моделей объекта по данным пассивного эксперимента (при $n>1$). | 2 |
| | Построение моделей в виде трансцендентных уравнений регрессии | 2 |
| | Построение моделей на основе мультипликативной свертки (метод Брандона) | 2 |
| Модуль 5 Цель: ознакомление с методами анализа чувствительности объекта управления | Исследование чувствительности (грубости) объекта при параметрических возмущениях | 4 |
| Модуль 6 Цель: ознакомление в ходе экспериментов с методами имитационного моделирования систем управления | Построение имитационной модели одноконтурной системы регулирования(ИМ_АСР1), включающей модели технических средств автоматизации | 2 |
| | Исследование ИМ_АСР1 при различных видах параметрических возмущений. | 2 |
| | Исследование ИМ_АСР1 при случайных возмущениях. | 2 |

ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 3б. Лабораторные работы и их трудоемкость

| Порядковый номер модуля. Цели лабораторных работ. | Наименование лабораторных работ | Трудоем- кость в часах |
|--|---|------------------------------|
| Модуль 2 Цель: формирование навыков составления программ для работы с МатЛаб | Разработка М-файла для построения статических и статистических характеристик систем | 1 |
| Модуль 3 Цель: формирование навыков анализа статической модели объекта управления | Построение вычислительного алгоритма анализа статического режима работы объекта с сосредоточенными и распределенными координатами (на основе модели динамики и модели статики). | 1 |
| Модуль 4 Цель: сформирование навыков построения моделей статистическими методами | Построение моделей объекта: по данным пассивного эксперимента, в виде трансцендентных уравнений регрессии, на основе мультипликативной свертки (метод Брандона) | 1 |
| Модуль 5 Цель: ознакомление с методами анализа чувствительности объекта управления | Исследование чувствительности (грубости) объекта при параметрических возмущениях | 1 |

5.4. Практические занятия

ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 4а. Тематика, форма практических занятий (ПЗ) и их трудоемкость

| Порядковый номер модуля. Цели практических занятий. | Примерная тематика занятий и форма их проведения | Трудоем- кость в часах |
|---|---|------------------------------|
| Модуль 1 Цель: знакомство на практике с методикой построения блок-схем объекта управления | Формализация описания объекта управления. Разработка блок-схем объекта управления. | 2 |
| Модуль 2 Цель: формирование начальных навыков использования Матлаб для анализа математических моделей систем управления | Изучение пользовательского интерфейса программной системой МатЛаб | 1 |
| | Изучение основных операторов и функций (ввод, вывод данных, создание матриц, векторов, построение графиков) | 2 |
| | М-файлы сценарии и функции | 2 |
| Модуль 3 Цель: изучение особенностей аналитических моделей объектов управления | Составление уравнений математической модели объектов с различной структурой материальных потоков | 1 |
| | Составление уравнений динамики и статики математической модели тепловых объектов. Модели теплообменников. Коррекция списка допущений. | 1 |

| | | |
|---|---|---|
| | Составление уравнений динамики и статики математических моделей химических реакторов. Модели, учитывающие влияние температуры на кинетические процессы. Коррекция списка допущений. | 1 |
| | Линеаризация уравнений математической модели объекта с тепловыми или кинетическими процессами | 1 |
| Модуль 4 Цель: закрепление навыков построения регрессионных моделей объектов и систем управления | Изучение на примерах методики проверки статистических гипотез (об однородности выборочных дисперсий параллельных измерений, о значимости оценок коэффициентов регрессии, об адекватности модели). | 2 |
| Модуль 6 Цель: изучение особенностей методик имитационного моделирования | Знакомство с библиотекой SIMULINK и методикой построения моделей, заданных системой дифференциальных уравнений | 2 |

ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Таблица 4б. Тематика, форма практических занятий (ПЗ) и их трудоемкость

| Порядковый номер модуля. Цели практических занятий. | Примерная тематика занятий и форма их проведения | Трудоемкость в часах |
|--|--|-----------------------------|
| Модуль 1 Цель: знакомство на практике с методикой построения блок-схем объекта управления | Формализация описания объекта управления. Разработка блок-схем объекта управления. | 1 |
| Модуль 6 Цель: изучение особенностей методик имитационного моделирования | Знакомство с библиотекой SIMULINK и методикой построения моделей, заданных системой дифференциальных уравнений | 1 |

6. Самостоятельная работа обучающихся и текущий контроль успеваемости

6.1. Цели самостоятельной работы

Формирование способностей к самостоятельному познанию и обучению, поиску литературы, обобщению, оформлению и представлению полученных результатов, их критическому анализу, поиску новых и неординарных решений, аргументированному отстаиванию своих предложений, умений подготовки выступлений и ведения дискуссий.

6.2. Организация и содержание самостоятельной работы

Самостоятельная работа заключается в изучении отдельных тем по заданию преподавателя по рекомендуемой учебной литературе, в подготовке к практическим занятиям, к защите лабораторных работ, в выполнении курсовой работы, в подготовке к текущему контролю успеваемости и подготовке к экзамену.

Студентам выдаются задания для выполнения лабораторных работ. В рамках дисциплины выполняется 13 по очной и 4 по заочной лабораторных работ, которые защищаются путем устного опроса. Выполнение всех лабораторных работ обязательно.

В случае невыполнения лабораторной работы по уважительной причине студент должен выполнить пропущенные лабораторные занятия в часы, отведенные на консультирование с преподавателем.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература по дисциплине

1. Морозов, В.К. Моделирование процессов и систем: учеб. пособие для вузов по направ. подготовки бакалавров: в составе учебно-методического комплекса / В.К. Морозов, Г.Н. Рогачев. - 2-е изд.; перераб. - Москва: Академия, 2015. - 264 с. - (Высшее образование. Бакалавриат). - Текст: непосредственный. - ISBN 978-5-4468-0694-2: 834 р. 90 к. - (ID=110786-12)

2. Советов, Б.Я. Моделирование систем: учебник для бакалавров по напр. "Информатика и вычислительная техника" и "Информационные системы: в составе учебно-методического комплекса / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. - 7-е изд. - Москва: Юрайт, 2012. - 344 с. - (Бакалавр) (УМК-У). - Библиогр.: с. 340 - 341. - Текст: непосредственный. - ISBN 978-5-9916-1580-8: 135 р. 36 к. - (ID=94350-8)

3. Советов, Б.Я. Моделирование систем: учебник для академического бакалавриата / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев; Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет. - 7-е изд. - Москва: Юрайт, 2021. - (Бакалавр. Академический курс). - Образовательная платформа Юрайт. - Текст: электронный. - ISBN 978-5-9916-3916-3. - URL: <https://urait.ru/bcode/488217>. - (ID=94131-0)

4. Моделирование систем: учебник по специальности "Автоматизация технических процессов и производств" направления подготовки "Автоматизированные технологии и производство": в составе учебно-методического комплекса / С.И. Дворецкий [и др.]. - Москва: Академия, 2009. - 316 с. - (Высшее профессиональное образование. Машиностроение) (УМК-У). - Текст: непосредственный. - ISBN 978-5-7695-4737-9: 207 р. 47 к. - (ID=76049-34)

7.2. Дополнительная литература по дисциплине

1. Крутских, В. В. Моделирование в LabVIEW: учебное пособие для вузов / В. В. Крутских. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 171 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-13681-4. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/496654> - (ID=139115-0)

2. Васильев, В.Г. Численные методы моделирования систем автоматического управления в программной среде LabVIEW: учебное пособие / В.Г. Васильев; Тверской гос. техн. ун-т. - Тверь: ТвГТУ, 2019. - 163 с. - Текст: непосредственный. - ISBN 978-5-7995-1046-6: 411 р. - (ID=135111-67)

3. Васильев, В.Г. Численные методы моделирования систем автоматического управления в программной среде LabVIEW: учебное пособие / В.Г. Васильев; Тверской гос. техн. ун-т. - Тверь: ТвГТУ, 2019. - Сервер. - Текст: электронный. - ISBN 978-5-7995-1046-6: 0-00. - URL: <http://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/135267>. - (ID=135267-1)

4. Котлинский, С.В. Разработка моделей предметной области автоматизации: учебник для вузов / С.В. Котлинский. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 412 с. - ЭБС Лань. - Текст: электронный. - ISBN 78-5-8114-8035-7. - URL: <https://e.lanbook.com/>

book/183204. - URL: <https://lanbook.com/catalog/informatika/razrabotka-modeley-predmetnoy-oblasti-avtomatizatsii/>. - (ID=143204-0)

5. Трухин, М.П. Моделирование сигналов и систем. Дифференциальные, дискретные и цифровые модели динамических систем: учебное пособие / М.П. Трухин; Трухин М.П.; под научной редакцией С.В. Поршнева. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2019. - ЭБС Лань. - Текст: электронный. - ISBN 978-5-8114-3792-4. - URL: <https://e.lanbook.com/book/121487>. - (ID=136069-0)

6. Древис, Ю. Г. Имитационное моделирование: учебное пособие для вузов / Ю. Г. Древис, В. В. Золотарёв. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 142 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-11385-3. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/495094>. - (ID=134530-0)

7. Пен, Р.З. Статистические методы математического моделирования, анализа и оптимизации технологических процессов: учебное пособие для вузов / Р.З. Пен, В.Р. Пен. - 2-е изд. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2021. - ЭБС Лань. - Текст: электронный. - ISBN 978-5-8114-8369-3. - URL: <https://e.lanbook.com/book/175505>. - (ID=141007-0)

7.3. Методические материалы

1. Программа специальной дисциплины федерального компонента "Моделирование систем" для бакалавров очной формы обучения, обучающихся по 220200.62 Автоматизация и управление: в составе учебно-методического комплекса / разработ. Н.Н. Филатова; Тверской гос. техн. ун-т, Каф. АТП. - Тверь: ТвГТУ, 2010. - (УМК-ПП). - Сервер. - Текст: электронный. - 0-00. - URL: <http://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/93013>. - (ID=93013-1)

2. Расширенное описание лекционного курса по дисциплине "Моделирование систем": в составе учебно-методического комплекса / разработ. Н.Н. Филатова; Тверской гос. техн. ун-т, Каф. АТП. - Тверь: ТвГТУ, 2007. - (УМК-М). - Сервер. - Текст: электронный. - 0-00. - URL: <http://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/104359>. - (ID=104359-1)

3. Практические занятия. Задачи по дисциплине "Моделирование систем": в составе учебно-методического комплекса / разработ. Н.Н. Филатова; Тверской гос. техн. ун-т, Каф. АТП. - Тверь: ТвГТУ, 2007. - (УМК-П). - Сервер. - Текст: электронный. - 0-00. - URL: <http://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/104367>. - (ID=104367-1)

4. Лабораторные занятия по дисциплине "Моделирование систем": в составе учебно-методического комплекса / разработ. Н.Н. Филатова; Тверской гос. техн. ун-т, Каф. АТП. - Тверь: ТвГТУ, 2007. - (УМК-ЛР). - Сервер. - Текст: электронный. - 0-00. - URL: <http://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/104369>. - (ID=104369-1)

5. Курсовая работа по дисциплине "Моделирование систем": в составе учебно-методического комплекса / разработ. Н.Н. Филатова; Тверской гос. техн. ун-т, Каф. АТП. - Тверь: ТвГТУ, 2007. - (УМК-КП). - Сервер. - Текст: электронный. - 0-00. - URL: <http://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/104360>. - (ID=104360-1)

7.4. Программное обеспечение по дисциплине

Операционная система Microsoft Windows: лицензии № ICM-176609 и № ICM-176613 (Azure Dev Tools for Teaching).

Microsoft Office 2007 Russian Academic: OPEN No Level: лицензия № 41902814.

MATLAB, пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений. (Разработчики - The MathWorks и Клив Б. Молер)

7.5. Специализированные базы данных, справочные системы, электронно-библиотечные системы, профессиональные порталы в Интернет

ЭБС и лицензионные ресурсы ТвГТУ размещены:

1. Ресурсы: <https://lib.tstu.tver.ru/header/obr-res>
2. ЭК ТвГТУ: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/Web>
3. ЭБС "Лань": <https://e.lanbook.com/>
4. ЭБС "Университетская библиотека онлайн": <https://www.biblioclub.ru/>
5. ЭБС «IPRBooks»: <https://www.iprbookshop.ru/>
6. Электронная образовательная платформа "Юрайт" (ЭБС «Юрайт»): <https://urait.ru/>
7. Научная электронная библиотека eLIBRARY: <https://elibrary.ru/>
8. Информационная система "ТЕХНОРМАТИВ". Конфигурация "МАКСИМУМ": сетевая версия (годовое обновление): [нормативно-технические, нормативно-правовые и руководящие документы (ГОСТы, РД, СНИПы и др.). Диск 1, 2, 3, 4. - М.: Технорматив, 2014. - (Документация для профессионалов). - CD. - Текст: электронный. - 119600 р. – (105501-1)
9. База данных учебно-методических комплексов: <https://lib.tstu.tver.ru/header/umk.html>

УМК размещен: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/132643>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лабораторный практикум проводится в одном из дисплейных классов ХТ, используются персональные компьютеры с лицензионным программным обеспечением Microsoft Windows и Microsoft Office 2007 и ППП MATLAB.

9. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

9.1. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме экзамена

1. Экзаменационный билет соответствует форме, утвержденной Положением о рабочих программах дисциплин, соответствующих федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования с учетом профессиональных стандартов. Типовой образец экзаменационного билета приведен в Приложении 1.

Число экзаменационных билетов – 20. Число вопросов (заданий) в экзаменационном билете – 3 (2 вопроса для категории «знать» и 1 вопрос для категории «уметь»).

Продолжительность экзамена – 60 минут.

2. Шкала оценивания промежуточной аттестации в форме экзамена – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

3. Критерии оценки за экзамен:

для категории «знать»:

выше базового – 2;

базовый – 1;

ниже базового – 0;

критерии оценки и ее значение для категории «уметь»:

отсутствие умения – 0 балл;

наличие умения – 2 балла.

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

4. Вид экзамена – устный экзамен, включающий решение задачи, указанной в билете.

5. База заданий, предъявляемая обучающимся на экзамене.

1. Моделирование, как способ исследования сложных технических систем.
Задачи и цели моделирования.

2. Построение нелинейных моделей объекта на основе уравнения трансцендентной регрессии.

3. Физическое моделирование.

4. Модель идеального смещения.

5. Математическое моделирование.

6. Модель идеального вытеснения

7. Линеаризация математической модели

8. Получение передаточных функций по различным каналам.

9. Составление уравнений математической модели динамики.

10. Имитационное моделирование.

11. Ячеечная модель.

12. Проверка гипотезы об адекватности модели.

13. Понятия объекта моделирования, пассивного и активного экспериментов.

14. Факторы, влияющие на точность решения задачи анализа динамических моделей объектов с сосредоточенными координатами.

15. Классификация математических моделей динамики.

16. Модель химического реактора на основе допущений об идеальном смешении.

17. Классификация математических моделей статики.

18. Создание математической модели статики по результатам пассивного эксперимента.

19. Расчет статических характеристик объекта с сосредоточенными координатами на основе численного анализа модели динамики.

20. Построение модели объекта на основе полного факторного эксперимента.

21. Модель химического реактора на основе допущений об идеальном вытеснении.

22. Проверка гипотезы об однородности выборочных дисперсий параллельных измерений выходного параметра.

23. Задача анализа динамического режима объекта.

24. Задача анализа чувствительности объекта.
25. Модель обогривного реактора.
26. Модели для описания тепловых процессов на основе допущения об идеальном смещении.
27. Три основных этапа разработки математической модели.
28. Модель противоточного теплообменника с сосредоточенными координатами.
29. Модели для описания тепловых процессов на основе допущения об идеальном вытеснении.
30. Проверка гипотезы о значимости оценок коэффициентов регрессии.
31. Диффузионные модели для описания структуры течения материальных потоков.
32. Проверка гипотезы об адекватности математической модели с помощью критерия Фишера.
33. Метод Брандона.
34. Анализ динамических режимов работы объектов с сосредоточенными координатами: методы решения с неявной схемой вычислений.
35. Построение нелинейных моделей объекта на основе уравнения трансцендентной регрессии.
36. Характеристика формальных (экспериментально-статистических) и неформальных (аналитических) методов составления математических моделей.
37. Общая характеристика методов численного анализа динамических режимов работы объектов с сосредоточенными координатами. Методы решения с явной схемой вычислений.
38. Построение многофакторных линейных моделей объекта по данным пассивного эксперимента
39. Особенности математических моделей объектов, влияющие на выбор методов анализа.
40. Применение метода наименьших квадратов для оценки коэффициентов линейного уравнения регрессии.
41. Характеристика основных методов составления математических моделей (экспериментально-статистических и аналитических).

Пользование различными техническими устройствами на экзамене не допускается. При желании студента покинуть пределы аудитории во время экзамена экзаменационный билет после его возвращения заменяется.

Преподаватель имеет право после проверки письменных ответов на экзаменационные вопросы задавать студенту в устной форме уточняющие вопросы в рамках содержания экзаменационного билета, выданного студенту.

Иные нормы, регламентирующие процедуру проведения экзамена, представлены в Положении о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

9.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме зачета

Учебным планом зачет по дисциплине не предусмотрен.

9.3. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме курсового проекта или курсовой работы

Курсовая работа направлена на закрепление навыков, полученных при изучении дисциплины «Моделирование систем управления».

9.3.1. Цель курсовой работы состоит в изучении:

- способов разработки математических моделей объектов управления;
- методики разработки программ для системы МатЛаб, позволяющих реализовывать численный анализ математических моделей объектов управления;
- методики разработки моделей систем управления и их исследования средствами пакета Simulink.

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки и приложений: файлов (*.m) и (*.mdl) с текстами программ.

Содержание расчетно-пояснительной записки.

Курсовая работа состоит из двух частей. В первой части рассматриваются вопросы моделирования объекта управления, во второй - моделирования локальных систем управления. Все вычислительные эксперименты выполнять в MatLab (или Octave).

Первая часть курсовой работы выполняется с использованием базовых средств программирования системы Матлаб. В ходе выполнения первой части курсовой работы студент должен решить следующие задачи:

- ◆ разработать математическую модель объекта управления, схема которого приведена в задании (сформировать список допущений, составить уравнения динамики и статики объекта);
- ◆ выполнить качественный анализ математической модели объекта:
 - на блок-схеме объекта указать составляющие вектора входных и выходных координат объекта,
 - перечислить каналы по управлению.
- ◆ - выполнить количественный анализ математической модели объекта:
 - разработать m-файлы с программой численного решения уравнений математической модели динамики объекта на ЭВМ,
 - получить переходные характеристики объекта по каналам, указанным в задании;
 - выполнить сравнительную оценку каналов.
- ◆ выполнить линеаризацию математической модели объекта по каналу, указанному в задании: получить передаточные функции и найти их параметры

Вторая часть курсовой работы (Моделирование АСР) выполняется с помощью пакета моделирования динамических систем **Simulink**, являющимся расширением системы Матлаб. Во второй части курсовой работы студент должен решить следующие задачи:

- для указанного в задании вида АСР, используя найденные передаточные функции, определить приближенные настройки регулятора;
- разработать в виде субмодели (Subsystem) отдельный блок для реализации уравнений нелинейной модели объекта управления;

- используя блок субмодели объекта управления и типовые блоки **Simulink** разработать модель системы автоматического регулирования, сохранить результат в отдельном файле (1.mdl);

- разработать модель системы автоматического регулирования используя линеаризованную модель объекта управления (передаточную функцию по заданному каналу), сохранить результат в отдельном файле (2.mdl);

- исследовать работу АСР с помощью нелинейной (1.mdl) и линейной (2.mdl) моделей в различных условиях (согласовать схему экспериментов с преподавателем);

- проанализировать работу АСР по результатам имитационных экспериментов.

Тексты программ и схемы моделей и субмоделей обязательно приводятся в приложении в виде распечаток соответствующих файлов (*.m), (*.mdl).

Распечатки графиков, дополненные условиями экспериментов, включаются в приложения.

Образец варианта задания для курсовой работы приведен в приложении 2.

9.3.2. Критерии итоговой оценки за курсовую работу

Таблица 5. Оцениваемые показатели для проведения промежуточной аттестации в форме курсовой работы

| № раздела | Наименование раздела | Баллы по шкале уровня |
|-----------|--|---|
| 1 | Разработать математическую модель объекта управления | Выше базового – 6 Базовый – 3 Ниже базового – 0 |
| 2 | Выполнить качественный и количественный анализ математической модели объекта | Выше базового – 6 Базовый – 3 Ниже базового – 0 |
| 3 | Выполнить линеаризацию математической модели объекта | Выше базового – 4 Базовый – 2 Ниже базового – 0 |
| 4 | Разработать модель системы автоматического регулирования, используя: - блок субмодели объекта; - линеаризованную модель объекта. Исследовать работу АСР (согласовать схему экспериментов с преподавателем). | Выше базового – 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0 |
| 5 | Заключение | Выше базового – 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0 |
| 6 | Список использованных источников | Выше базового – 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0 |

Критерии итоговой оценки за курсовую работу:

«отлично» – при сумме баллов от 17 до 20;

«хорошо» – при сумме баллов от 12 до 16;

«удовлетворительно» – при сумме баллов от 8 до 12;

«неудовлетворительно» – при сумме баллов менее 8.

В процессе выполнения курсовой работы руководитель осуществляет систематическое консультирование.

Дополнительные процедурные сведения:

студенты получают вариант по теме курсовой работы в течение двух первых недель обучения;

- проверку и оценку работы осуществляет руководитель, который доводит до сведения обучающегося достоинства и недостатки курсовой работы и ее оценку. Оценка проставляется в зачетную книжку обучающегося и ведомость для курсовой работы. Если обучающийся не согласен с оценкой руководителя, проводится защита работы перед комиссией, которую назначает заведующий кафедрой;

- защита курсовой работы проводится в течение двух последних недель семестра и выполняется в форме устной защиты в виде доклада и презентации на 5-7 минут с последующим ответом на поставленные вопросы, в ходе которых выясняется глубина знаний студента и самостоятельность выполнения работы;

- работа не подлежит обязательному внешнему рецензированию;

- курсовые работы хранятся на кафедре в течение трех лет.

10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Студенты, изучающие дисциплину, обеспечиваются электронными изданиями или доступом к ним, учебно-методическим комплексом по дисциплине, включая методические указания к выполнению лабораторных работ и всех видов самостоятельной работы.

Для формирования навыков построения математических моделей технологических объектов на основе аналитических методов целесообразно организовать разбор соответствующих примеров на практических занятиях. Практические занятия проводятся в основном в лекционных аудиториях, однако при изучении модулей 2 и 6 можно перенести занятия в дисплейный класс.

Изучение методик построения моделей экспериментально-статистическими методами, а также методов анализа математических моделей и постановки вычислительных экспериментов с имитационными моделями систем управления следует осуществлять в рамках лабораторных работ. Лабораторные занятия проводятся в дисплейном классе. Для каждого студента формируется индивидуальный пакет исходных данных для всех лабораторных работ.

При подготовке отчетов студенты должны использовать все средства MSOffice необходимые для подготовки текстового документа и иллюстративного графического материала. Отчет на бумажном носителе сдается на проверку, при защите студент объясняет допущенные погрешности и, при необходимости, предъявляет файл с программой решения.

11. Внесение изменений и дополнений в рабочую программу дисциплины

Содержание рабочих программ дисциплин ежегодно обновляется протоколами заседаний кафедры по утвержденной «Положением о структуре, содержании и оформлении рабочих программ дисциплин по образовательным программам, соответствующим ФГОС ВО с учетом профессиональных стандартов» форме.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего образования
 «Тверской государственный технический университет»

Кафедра автоматизации технологических процессов
 Направление подготовки бакалавров – 27.03.04 Управление в технических системах
 Направленность (профиль) – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Дисциплина «Моделирование систем управления»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №1

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Моделирование, как способ исследования сложных технических систем. Задачи и цели моделирования.

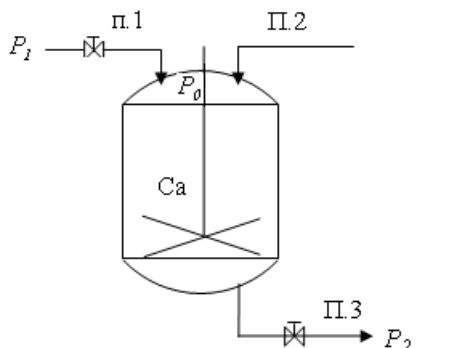
2. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Построение нелинейных моделей объекта на основе уравнения трансцендентной регрессии.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Составить уравнения математической модели динамики, указать допущения.

| Потоки | | |
|--|--------------------------------|--|
| П1 | П2 | П3 |
| C_{a0} , Клапан ($k1$) Расход ($G1$) | Разбавитель Расход ($G2$) | C_{a1} , Расход ($G3$) Клапан ($k2$) |



Критерии итоговой оценки за экзамен:

- «отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
- «хорошо» - при сумме баллов 4;
- «удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
- «неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: профессор кафедры АТП _____ Н.Н. Филатова

Заведующий кафедрой АТП: _____ Б.И. Марголис

Вариант задания для курсовой работы

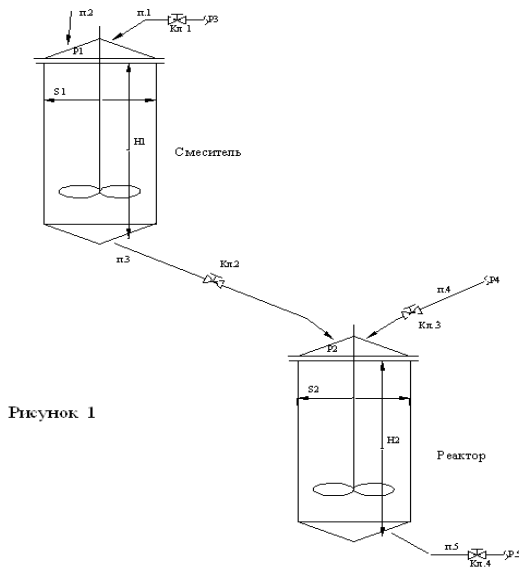


Рисунок 1

Таблица 1 Виды экспериментов с объектом управления

| Вариант | Рис. | Возмущение по входам | Линеаризация => W(P) |
|---------|------|---------------------------------|-------------------------|
| 1 | 1 | Входы: C_{A0} , K_1 , G_2 | $C_{R1}(P) / C_{A0}(P)$ |

Таблица 2 Параметры объекта управления

| var | рис | S1 | S2 | S3 | p1 | p2 | p3 | p4 | p5 | p6 | W1 | W2 |
|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|
| 1 | 3 | 1.4 | 1.4 | | 1.5 | 1.2 | 1.4 | 2 | 0 | | 2.5 | 3.5 |

Таблицы 3, 4 Технологические потоки и химическая реакция

| Рис. | поток 1 | поток 2 | поток 3 | поток 4 | поток 5 |
|------|--------------------------------------|-------------|---|-------------|--|
| 3 | Раствор А Концентр. $= C_{A0}$ | Разбавитель | Смесь А, R, S Концентр. $= C_A$ $= C_R$ $= C_S$ | Разбавитель | Смесь А, R, S Концентр. $= C_{A1}$ $= C_{R1}$ $= C_{S1}$ |

| Номер рисунка | Химическая реакция |
|---------------|--|
| Рис.3 | $A \xrightarrow{r1} R \xrightleftharpoons[r3]{r2} S$ |