

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)»
«Математическое моделирование объектов и систем управления»

Направление подготовки магистров 27.04.04 Управление в технических системах

Направленность (профиль) – Управление и информатика в технических системах

Типы задач профессиональной деятельности – научно-исследовательский, проектно-конструкторский

Форма обучения – очная

Факультет информационных технологий
Кафедра «Автоматизация технологических процессов»

Тверь 2021

Рабочая программа дисциплины соответствует ОХОП подготовки магистров 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 является получение студентами знаний по основам построения и анализа математических и имитационных моделей сложных систем управления техническими объектами и их использования на практике.

Объектами изучения являются методы построения имитационных моделей, а также методики численного анализа математических моделей сложных систем управления.

Задачами дисциплины являются:

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

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Математическое моделирование объектов и систем управления» относится к обязательной части Блока 1 ОП ВО.

Для освоения этой дисциплины студенты используют знания, умения и навыки, сформированные в ходе изучения дисциплины «Моделирование систем управления» в программе бакалавриата.

Приобретенные знания студент сможет использовать при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

3.1 Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенции, закрепленные за дисциплиной в ОХОП:

ОПК-2. Способен формулировать задачи управления в технических системах и обосновывать методы их решения.

ОПК-4. Способен оценить эффективность систем управления, разработанных на основе современных математических методов.

Индикаторы компетенций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:

ИОПК-2.2. Использует методы математического моделирования и компьютерные технологии для решения задач анализа и синтеза систем управления

ИОПК-4.1. Определяет критерии оценки эффективности систем управления.

ИОПК-4.2. Использует компьютерные технологии для оценки эффективности систем управления, разработанных на основе современных методов математического моделирования.

Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций

Знать:

31. Пакеты прикладных программ для решения задач обработки результатов экспериментов и идентификации динамических объектов.

Уметь:

У1. Применять методы математического моделирования для выбора оптимальной структурной схемы.

У2. Использовать пакеты прикладных программ для проведения моделирования в процессе исследований АСУТП.

3.2. Технологии, обеспечивающие формирование компетенций

Проведение лекционных и практических занятий, а также самостоятельная работа под руководством преподавателя.

4. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы

Таблица 1. Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной работы

Вид учебной работы	Зачетные единицы	Академические часы
Общая трудоемкость дисциплины	4	144
Аудиторные занятия (всего)		28
В том числе:		
Лекции		14
Практические занятия (ПЗ)		14
Лабораторные работы (ЛР)		не предусмотрены
Самостоятельная работа обучающихся (всего)		116=80+36 (экз.)
В том числе:		
Курсовая работа		не предусмотрен
Курсовой проект		не предусмотрен
Расчетно-графические работы		не предусмотрены
Реферат		не предусмотрен
Другие виды самостоятельной работы:		
- изучение теоретической части дисциплины		40
- подготовка к защите практических работ		20
- выполнение заданий по практическим занятиям		20
Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация (экзамен)		36 (экз.)
Практическая подготовка при реализации дисциплины (всего)		0

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Структура дисциплины

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

№	Наименование модуля	Труд-ть, часы	Лекции	Практич. занятия	Лаб. работы	Сам. работа
1	Введение. Характеристика типов схем для описания объектов моделирования	18	2	2	-	8+ 6 (экз.)
2	Непрерывно-стохастические модели объектов исследования на основе Q-схемы	18	2	2	-	8+ 6 (экз.)
3	Понятие об имитационном моделировании	18	2	2	-	8+ 6 (экз.)
4	Программные имитационные модели	18	2	2	-	8+ 6 (экз.)
5	Методы генерирования псевдослучайных чисел	18	2	2	-	8+ 6 (экз.)
6	Имитационное моделирование систем с постоянной структурой	18	4	4	-	4+ 6 (экз.)
Всего на дисциплину		144	14	14		80+36 (экз.)

5.2. Содержание дисциплины

МОДУЛЬ 1 «Введение. Характеристика типов схем для описания объектов моделирования»

Рассматривается краткая характеристика основных типов схем, на основе которых описывают математические особенности систем управления: - D-схемы, - F-схемы, - P-схемы, - Q-схемы.

МОДУЛЬ 2 «Непрерывно-стохастические модели объектов исследования на основе Q-схемы»

Особенности моделей массового обслуживания (СМО). Основные понятия: прибор обслуживания, поток событий, поток обслуживания, поток заявок. Процесс функционирования прибора как процесс изменения состояний его элементов во времени $z_i(t)$. Оператор сопряжения. Алгоритмы ожидания заявок в накопителях и обслуживания заявок в каналах.

МОДУЛЬ 3 «Понятие об имитационном моделировании»

Основные понятия имитационного моделирования. Алгоритмическая модель процесса. Виды операторов. Варианты сцеплений. Блоки. Конфликтные ситуации. Формы описания процессов.

МОДУЛЬ 4 «Программные имитационные модели»

Анализ временных событий.

Схемы моделирующего алгоритма сканирующего типа, моделирующего алгоритма линейного типа. Управляющий моделирующий алгоритм

МОДУЛЬ 5 «Методы генерирования псевдослучайных чисел»

Метод обратной функции (Метод преобразования). Пример для логарифмически нормального распределения. Достоинства и недостатки метода обратной функции. Табличный метод, применяемый в трансляторе языка GPSS.

Метод, основанный на функциональных особенностях распределений.

МОДУЛЬ 6 «Имитационное моделирование систем с постоянной структурой»

Компартментные системы. Методическая модель (на примере модели движения йода в организме млекопитающего).

5.3 Лабораторные работы

Учебным планом лабораторные работы по дисциплине не предусмотрены.

5.4. Практические занятия

Таблица 3. Тематика, форма практических занятий (ПЗ) и их трудоемкость

Порядковый номер модуля. Цели практических занятий	Примерная тематика занятий и форма их проведения	Трудо- емкость в часах
Модуль 1 Цель: знакомство с примерами построения моделей на основе типовых схем	Рассматривается краткая характеристика основных типов схем, на основе которых описывают математические особенности систем управления: - D-схемы, - F-схемы, - P-схемы, - Q-схемы.	2
Модуль 2 Цель: знакомство с примерами моделей массового обслуживания	Особенности моделей массового обслуживания (СМО). Основные понятия: прибор обслуживания, поток событий, поток обслуживания, поток заявок оператор сопряжения.	2
Модуль 3 Цель: изучение на примерах особенностей имитационных моделей	Основные понятия имитационного моделирования. Алгоритмическая модель процесса. Виды операторов. Формы описания процессов.	2
Модуль 4 Цель: знакомство с примерами моделирующих алгоритмов	Анализ временных событий. Схемы моделирующего алгоритма сканирующего типа, моделирующего алгоритма линейного типа. Управляющий моделирующий алгоритм.	2
Модуль 5 Цель: знакомство с примерами моделирующих алгоритмов	Метод обратной функции (метод преобразования). Достоинства и недостатки метода. Табличный метод, применяемый в трансляторе языка GPSS. Метод, основанный на функциональных особенностях распределений.	2
Модуль 6 Цель: изучение особенностей компартментных систем	Компартментные системы. Методическая модель (на примере модели движения йода в организме млекопитающего).	4

6. Самостоятельная работа обучающихся и текущий контроль успеваемости

6.1. Цели самостоятельной работы

Формирование способностей к самостоятельному познанию и обучению, поиск литературы, обобщение, оформление и представление полученных результатов, их критический анализ, разработка документации.

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, текущему контролю успеваемости, подготовке к экзамену.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература по дисциплине

1. 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)

2. 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. Салмина, Н. Ю. Моделирование систем: учебное пособие: в 2 частях / Н. Ю. Салмина. – Москва: ТУСУР, [б. г.]. – Часть 1 – 2013. – 118 с. – ISBN 978-5-4332-0146-0. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/110398>. - (ID=146255-0)

2. Салмина, Н. Ю. Моделирование систем: учебное пособие: в 2 частях / Н. Ю. Салмина. – Москва: ТУСУР, [б. г.]. – Часть 2 – 2013. – 114 с. – ISBN 978-5-4332-0147-7. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/110399>. - (ID=146256-0)

3. Салмина, Н.Ю. Имитационное моделирование: учебное пособие / Н.Ю. Салмина; Салмина Н.Ю. - Москва: ТУСУР, 2015. - ЭБС Лань. - Текст: электронный.- URL: <https://e.lanbook.com/book/110330>. - (ID=146257-0)

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 978-5-8114-8035-7. - URL: <https://e.lanbook.com/book/183204>. - URL: <https://lanbook.com/catalog/informatika/razrabotka-modeley-predmetnoy-oblasti-avtomatizatsii/>. - (ID=143204-0)

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

7.3. Методические материалы

1. 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)

2. Фонд оценочных средств дисциплины вариативной части Блока 1 "Математическое моделирование объектов и систем управления" направления подготовки 27.04.04 Управление в технических системах. Профиль: Управление и информатика в технических системах. Семестр 2: в составе учебно-методического комплекса / Каф. Автоматизация технологических процессов; сост. Н.Н. Филатова. - 2017. - (УМК-В). - Текст: электронный. - (ID=132595-0)

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/116824>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Практические занятия проводятся 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. Обучающемуся даётся право выбора заданий из числа, содержащихся в билете, принимая во внимание оценку, на которую он претендует.

Число экзаменационных билетов – 12. Число вопросов (заданий) в экзаменационном билете – 3 (1 вопрос для категории «знать» и 2 вопроса 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 баллов;

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 – письменный экзамен, включающий решение задач с использованием ЭВМ.

5. База заданий, предъявляемая обучающимся на экзамене.

1. Цели, задачи и критерии, используемые при разработке моделей систем управления (СУ).

2. Различия в структурном и функциональном подходах к моделированию.

3. Понятия система и подсистема моделирования.

4. Основные стадии разработки математических моделей СУ; основные классы моделей систем.

5. Особенности мысленного и реального моделирования.

6. Взаимосвязь классов моделей систем управления и уровня рассмотрения СУ, как объекта проектирования.

7. Содержательное и формализованное описание системы.

8. Процесс функционирования системы, понятие оператора (закона функционирования системы), алгоритмы функционирования системы.

9. Основные подходы к построению математических моделей систем. Понятие о математической схеме.

10. Q-схемы и их применение для построения непрерывно -стохастических моделей процессов.
11. N-схемы и их применение для построения сетевых моделей.
12. A-схемы и их применение для построения комбинированных моделей.
13. P-схемы и их применение для построения дискретно -стохастических моделей процессов.
14. F-схемы и их применение для построения дискретно -детерминированных моделей процессов.
15. D-схемы и их применение для построения непрерывно-детерминированных моделей процессов.
16. Оценка точности и достоверности результатов моделирования (проверка адекватности): по средним значениям откликов модели и системы; по дисперсиям отклонений откликов модели от среднего значения откликов системы; по максимальному значению абсолютных отклонений откликов модели от откликов системы.
17. Калибровка и балансировка модели.
18. Процедуры сравнения модельных и системных выходных данных. Выбор входных распределений вероятностей,
19. Анализ и интерпретация результатов моделирования на ЭВМ.
20. Составить графовую модель схемы системы регулирования технологического параметра.
21. Составить графовую модель схемы контроля и сигнализации технологических параметров.
22. Построить граф переходов и составить матрицу соединений для автоматной модели, представленной таблицей.
23. Составить уравнение модели динамики для объекта управления в системе регулирования уровня.
24. Составить уравнения модели динамики для объекта управления в системе регулирования температуры.
25. Составить уравнение модели динамики для объекта управления в системе регулирования концентрации.
26. Область применения D- и Q-схем, построение моделей систем управления.
27. Область применения N-схем, построение сетевых моделей.
28. Область применения P-F-схем.
29. Объект имеет три выхода. Проверить гипотезу о близости средних значений каждой из трех компонент откликов модели Y_n известным средним значениям компоненты откликов реальной системы Y^*n . Использовать t-критерий.
30. Объект имеет два выхода. Для каждой компоненты отклика проверить гипотезу о значимости различий оценок двух дисперсий (остаточной и относительно среднего). Использовать F-критерий.
31. Проиллюстрировать основные этапы методики построения математической модели динамики объекта управления (на примере объекта, заданного преподавателем).
32. Способы коррекции модели.

33. Моделирование источников сигналов и воздействий. Библиотека математических блоков.

34. Создать модель формирования сигнала заданного вида (осциллограмма выдается преподавателем) с помощью библиотеки сигналов и математических блоков.

35. Создать модель реализации решения системы алгебраических уравнений, описывающих статический режим работы объекта управления (систему задает преподаватель).

36. Какие виды солверов могут использоваться в Simulink для решения уравнений модели динамики?

37. Задание параметров расчета в моделях Simulink.

38. Три способа реализации моделей динамики в программе Simulink.

39. Реализовать в программе Simulink модель смесителя, заданную системой из трех дифференциальных уравнений: (а) с использованием блока StateSpace, (б) без использования блока StateSpace.

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

Учебным планом курсовая работа и курсовой проект по дисциплине не предусмотрены.

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 для 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 необходимости можно перенести занятия в дисплейный класс.

11. Внесение изменений и дополнений в рабочую программу дисциплины

Кафедра ежегодно обновляет содержание рабочих программ дисциплин, которые оформляются протоколами. Форма протокола утверждена «Положением о структуре, содержании и оформлении рабочих программ дисциплин по образовательным программам, соответствующих ФГОС ВО с учетом профессиональных стандартов».

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

Направление подготовки магистров –27.04.04 Управление в технических системах
Направленность (профиль) – Управление и информатика в технических системах
Кафедра «Автоматизация технологических процессов»
Дисциплина «Математическое моделирование объектов и систем управления»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

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

Принципы системного подхода в моделировании систем.

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

Объяснить, чем файлы-функции отличаются от файлов-сценариев.

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

Показать какие исходные данные необходимы для численного анализа уравнений упрощенной математической модели системы управления:

$$\frac{d(V_1 C_1)}{dt} = G_1 C_1 + Q_1 C_1 - Q_1 F(C_1) - G_1 C_1;$$

$$\frac{d(V_2 C_2)}{dt} = W + Q_2 F(C_A) - Q_2 C_2.$$

$$F(C_2) = b_0 + b_1 C_2.$$

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: _____ Б.И. Марголис