

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

элективной дисциплины, части формируемой участниками образовательных
отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)»
«Нелинейные системы 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: доцент кафедры АТП

П.К. Кузин

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

Заведующий кафедрой

Б.И. Марголис

Согласовано:

Начальник учебно-методического
отдела УМУ

Д.А. Барчуков

Начальник отдела
комплектования
зональной научной библиотеки

О.Ф. Жмыхова

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины «Нелинейные системы управления» является подготовка студентов к профессиональной деятельности в области исследования, расчета, анализа и моделирования нелинейных систем управления.

Задачами дисциплины являются:

- приобретение теоретических знаний по методам построения моделей нелинейных систем управления;
- приобретение теоретических знаний по методам исследования нелинейных систем управления;
- овладение методами компьютерного моделирования нелинейных систем управления.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Элективная дисциплина, части формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 ОП ВО. Для изучения курса требуются знания, полученные студентами при изучении дисциплин: «Теория автоматического управления», «Автоматизация технологических процессов и производств», «Моделирование систем управления».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

3.1. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенции, закрепленные за дисциплиной в ОХОП:

ПК-1. Способен разрабатывать варианты структурных схем системы управления технологическим процессом и осуществлять выбор оптимальной структурной схемы.

Индикаторы компетенций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:

ИПК-1.2. Применяет основные принципы и методы оптимального, нечеткого, нейросетевого, робастного и адаптивного управления при разработке и проектирования систем и средств управления.

Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций

Знать:

З1. Методы анализа нелинейных систем управления.

З2. Методы исследования нелинейных систем на автоколебания.

Уметь:

У1. Получать и анализировать фазовые портреты нелинейных систем.

У2. Осуществлять построение моделей нелинейных систем управления в Matlab и Simulink.

Иметь опыт практической подготовки:

ПП1. Разрабатывать математические модели нелинейных систем с релейными элементами.

ПП2. Производить исследования нелинейных систем с релейными элементами на автоколебания.

3.2. Технологии, обеспечивающие формирование компетенций

Проведение лекционных и практических занятий, 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	3	108
Аудиторные занятия (всего)		26
В том числе:		
Лекции		13
Практические занятия (ПЗ)		13
Лабораторные работы (ЛР)		не предусмотрены
Самостоятельная работа обучающихся (всего)		82=46+36 (экз.)
В том числе:		
Курсовая работа		не предусмотрена
Курсовой проект		не предусмотрен
Расчетно-графические работы		не предусмотрены
Реферат		не предусмотрен
Другие виды самостоятельной работы:		
- изучение теоретической части дисциплины		20
- подготовка к практическим занятиям		26
Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация (экзамен)		36 (экз.)
Практическая подготовка при реализации дисциплины (всего)		13
В том числе:		
Практические занятия (ПЗ)		13
Лабораторные работы (ЛР)		не предусмотрены
Курсовая работа		не предусмотрена
Курсовой проект		не предусмотрен

5. Структура и содержание дисциплины

Структура и содержание дисциплины построены по модульно-блочному принципу. Под модулем дисциплины понимается укрупненная логико-понятийная тема, характеризующаяся общностью использованного понятийно-терминологического аппарата.

5.1. Структура дисциплины

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

№ п/п	Наименование модуля	Труд-ть часы	Лекции	Практич. занятия	Самостоят. работа
1	Особенности нелинейных систем управления, нелинейные статические характеристики.	20	2	2	10+6 (экз.)
2	Метод фазовой плоскости.	26	4	4	10+8 (экз.)
3	Метод гармонической линеаризации.	30	4	4	12+10 (экз.)
4	Автоколебания в нелинейных системах управления.	32	3	3	14+12 (экз.)
Всего на дисциплину		108	13	13	46+36 (экз.)

5.2. Содержание дисциплины

Модуль 1 «Особенности нелинейных систем управления, нелинейные статические характеристики»

Основные отличия свойств нелинейных систем от свойств линейных систем управления. Релейные статические характеристики. Кусочно-линейные статические характеристики. Определение устойчивости и асимптотической устойчивости систем управления по Ляпунову.

Модуль 2 «Метод фазовой плоскости»

Понятие фазовой плоскости. Изображение процессов на фазовой плоскости. Построение фазовых портретов нелинейных систем. Особые точки и особые линии фазовых портретов. Дифференциальные уравнения систем с одним релейным элементом в пространстве состояний.

Модуль 3 «Метод гармонической линейаризации»

Гармоническая линейаризация нелинейных звеньев. Гипотеза фильтра. Передаточная функция нелинейного звена. Вычисление коэффициентов гармонической линейаризации нелинейных звеньев.

Модуль 4 «Автоколебания в нелинейных системах управления»

Условие возникновения периодического процесса в нелинейной системе управления. Возникновение автоколебаний в системе с нелинейным звеном с однозначной характеристикой. Возникновение автоколебаний в системе с нелинейным звеном с неоднозначной характеристикой. Метод Гольдфарба исследования автоколебаний.

5.3. Лабораторные работы

Учебным планом лабораторные работы не предусмотрены.

5.4. Практические занятия

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

Модули. Цели практических занятий	Примерная тематика занятий и форма их проведения	Трудоемкость в часах
Модуль 1 Цель: приобретение навыков моделирования нелинейных элементов в MATLAB	Моделирование нелинейных статических характеристик в MATLAB	2
Модуль 2 Цель: овладение методами построения фазовых портретов нелинейных систем	Построение фазового портрета нелинейной системы Фазовые портреты нелинейных систем с релейным элементом	4
Модуль 3 Цель: приобретение практических навыков вычисления коэффициентов гармонической линейаризации нелинейных звеньев	Вычисление коэффициентов гармонической линейаризации Гармоническая линейаризация системы с одним нелинейным элементом	4
Модуль 4 Цель: приобретение практических навыков анализа автоколебаний в нелинейных системах	Исследование автоколебаний в нелинейных системах	3

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, способности применять современные методы разработки алгоритмического обеспечения систем управления, готовности к применению основных методов анализа нелинейных систем управления при разработке и проектировании средств управления объектами.

6.2. Организация и содержание самостоятельной работы

Самостоятельная работа заключается в изучении отдельных тем курса по заданию преподавателя по рекомендуемой им учебной литературе, в подготовке к практическим занятиям, текущему контролю успеваемости и экзамену.

Текущий контроль успеваемости осуществляется с использованием модульно-рейтинговой системы обучения.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература по дисциплине

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник для вузов по машиностроит. приборостроит. спец.: в 5 т.: в составе учебно-методического комплекса. Т. 1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / К.А. Пупков [и др.]; под ред.: К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. - 2-е изд.; перераб. и доп. - Москва: Московский гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана, 2004. - 654 с.: ил. - (УМК-У). - Библиогр.: с. 641 - 647. - Текст: непосредственный. - ISBN 5-7038-2189-4 (Т. 1): 353 р. - (ID=20707-2)

2. Пантелеев, А.В. Теория управления в примерах и задачах: учеб. пособие для студентов вузов: в составе учебно-методического комплекса / А.В. Пантелеев, А.С. Бортаковский. - Москва: Высшая школа, 2003. - 583 с. - (Прикладная математика для ВТУЗов) (УМК-У). - Библиогр.: с. 581 - 583. - Текст: непосредственный. - ISBN 5-06-004136-0: 112 р. 30 к. - (ID=14423-9)

3. Теория автоматического управления: учебник для вузов по напр. подготовки бакалавров и магистров "Автоматизация и упр." и напр. подготовки дипломированных специалистов "Автоматизация и упр.": в составе учебно-методического комплекса / С.Е. Душин [и др.]; под ред. В.Б. Яковлева. - 2-е изд.; перераб. - Москва: Высшая школа, 2005. - 567 с. - (УМК-У). - Библиогр.: с. 563 - 567. - Текст: непосредственный. - ISBN 5-06-004096-8: 299 р. 25 к. - (ID=57657-10)

7.2. Дополнительная литература по дисциплине

1. Делов, В.А. Методы исследования нелинейных цифровых систем управления: монография / В.А. Делов. - Тверь: ТвГТУ, 2000. - 165 с.: ил. - Библиогр.: с. 162 - 163. - ISBN 5-230-19399-9: 175 р. - (ID=9527-4)

2. Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: учебник и практикум для вузов /

Д. П. Ким. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 441 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00975-0. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/491183>. – (ID=136127-0)

3. Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Задачник: учебное пособие для вузов / Д. П. Ким. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 331 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-01459-4. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/491186>. – (ID=145244-0)

4. Васильев, Е. М. Теория автоматического управления. Нелинейные системы: учебное пособие / Е. М. Васильев, В. Г. Коломыцев. – Пермь: ПНИПУ, 2011. – 115 с. – ISBN 978-5-398-00562-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/160329>. – (ID=145252-0)

5. Нос, О. В. Теория автоматического управления. Теория управления особыми линейными и нелинейными непрерывными системами: учебное пособие / О. В. Нос. – Новосибирск: НГТУ, 2019. – 166 с. – ISBN 978-5-7782-3889-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/152232>. – (ID=145251-0)

6. Бобиков, А. И. Субоптимальные нелинейные системы управления: метод расширенной линеаризации: учебное пособие / А. И. Бобиков. – Рязань: РГРТУ, 2015. – 108 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/168068>. – (ID=145249-0)

7. Журомский, В. М. Нелинейные системы автоматического управления. Метод гармонического баланса. Инженерно-физические основы: учебное пособие / В. М. Журомский. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2012. – 56 с. – ISBN 978-5-7262-1665-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/75709>. – (ID=145248-0)

7.3. Методические материалы

1. Федянин, В. П. Моделирование следящих систем с учётом нелинейностей: учебно-методическое пособие / В. П. Федянин, О. И. Монахов, Д. А. Антонов. – Москва: РУТ (МИИТ), 2019. – 46 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/175679>. – (ID=145253-0)

2. Бобиков, А. И. Оптимальные и диссипативные нелинейные системы управления / А. И. Бобиков. – Рязань: РГРТУ, 2014. – 113 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/167992>. – (ID=145250-0)

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.

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/116822>

8. Материально-техническое обеспечение

При изучении дисциплины «Нелинейные системы управления» используется демонстрация справочного материала с помощью проектора.

Практические занятия проводятся в компьютерных классах университета.

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

Продолжительность экзамена – 90 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 – письменный экзамен, включающий решение задач с использованием ЭВМ.

5. База заданий, предъявляемая обучающимся на экзамене.

1. Нелинейные автоматические системы, их основные особенности.
2. Нелинейные статические характеристики.
3. Определение устойчивости и асимптотической устойчивости нелинейных систем по Ляпунову.
4. Получение дифференциальных уравнений нелинейных систем с одним нелинейным элементом в пространстве состояний.
5. Фазовая траектория. Фазовый портрет системы на фазовой плоскости, методика его построения.
6. Определение типа особых точек по корням характеристического уравнения линеаризованной системы.
7. Особые точки и особые линии фазового портрета нелинейной системы.
8. Метод гармонической линеаризации. Гипотеза фильтра.
9. Метод гармонической линеаризации. Передаточная функция нелинейного элемента, полученная в результате гармонической линеаризации.
10. Вычисление коэффициентов гармонической линеаризации нелинейных звеньев.
11. Основное условие возникновения периодических процессов в нелинейных АС.
12. Исследование автоколебаний графическим методом Гольдфарба.

При подготовке ответов на вопросы экзамена допускается использование справочных материалов.

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

Учебным планом курсовая работа (проект) по дисциплине не предусмотрена.

10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины.

Студенты перед началом изучения дисциплины ознакомлены с системами кредитных единиц и балльно-рейтинговой оценки, которые должны быть опубликованы и размещены на сайте вуза или кафедры.

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

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, соответствующим ФГОС ВО с учетом профессиональных стандартов».

Приложение

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 «Нелинейные системы управления»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

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

Определение типа особых точек по корням характеристического уравнения линеаризованной системы.

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

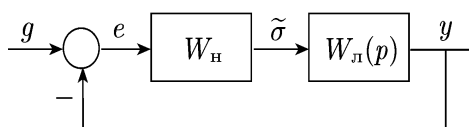
Построить фазовый портрет нелинейной системы, описываемой уравнениями

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -4x_1 \\ x_2(1) = 0 \end{cases}$$

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

Исследовать систему с одним нелинейным звеном на наличие автоколебаний графическим методом Гольдфарба.

Структурная схема АС



Нелинейное звено – идеальное реле.

Передаточная функция линейной части $W_{л}(p) = \frac{p}{Tp+1}$.

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: к.т.н., доцент каф. АТП _____ П.К. Кузин

Заведующий кафедрой АТП _____ Б.И. Марголис