

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**  
**(РУТ (МИИТ))**



Рабочая программа дисциплины (модуля),  
как компонент образовательной программы  
высшего образования - программы магистратуры  
по направлению подготовки  
23.04.02 Наземные транспортно-технологические  
комплексы,  
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)  
Тимониным В.С.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Системы автоматического регулирования и управления наземных  
транспортно-технологических комплексов**

Направление подготовки: 23.04.02 Наземные транспортно-  
технологические комплексы

Направленность (профиль): Наземные транспортные комплексы

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде  
электронного документа выгружена из единой  
корпоративной информационной системы управления  
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)  
ID подписи: 6216  
Подписал: заведующий кафедрой Неклюдов Алексей  
Николаевич  
Дата: 01.06.2023

## 1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целями освоения дисциплины (модуля) являются:

- усвоение студентами основ теории автоматического регулирования и управления;
- овладение методологией теории регулирования и управления;
- овладение общими принципами построения математических моделей объектов, методами анализа и синтеза систем автоматического управления (САУ) и регулирования (САР).

Задачами дисциплины (модуля) являются:

- приобрести знания по общим принципам и тенденциям развития современных систем управления технологическими и производственными процессами;
- освоение основ построения и методов проектирования систем управления;
- ознакомление с современными техническими средствами управления и управляющей вычислительной техникой.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

**ОПК-5** - Способен применять инструментарий формализации научно-технических задач, использовать прикладное программное обеспечение для моделирования и проектирования систем и процессов;

**ПК-6** - Способен к проведению испытаний, анализу и проведению теоретических исследований по созданию перспективных агрегатов, систем, автомобилей и технологий.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

### **Знать:**

- фундаментальные понятия: управляемость, наблюдаемость, стабилизируемость;
- различные понятия устойчивости (устойчивость по Ляпунову, асимптотическая устойчивость, асимптотическая устойчивость в целом, абсолютная устойчивость, орбитальная устойчивость);
- формулировки определений, теорем и критериев.

### **Уметь:**

- описывать математические модели в пространстве состояний;
- строить по фазовой траектории временные характеристики и наоборот;
- формулировать задачи оптимального управления;
- определять подходы к решению различных нелинейных задач.

**Владеть:**

- методами исследования устойчивости нелинейных систем;
- методом анализа фазовой плоскости анализа и синтеза нелинейных систем;
- методом осуществления гармонической линеаризации исследования автоколебаний;
- методом построения функций Ляпунова;
- методами построения оптимальных систем.

3. Объем дисциплины (модуля).

3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 8 з.е. (288 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов	
	Всего	Сем. №3
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	80	80
В том числе:		
Занятия лекционного типа	32	32
Занятия семинарского типа	48	48

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 208 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при

ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля).

##### 4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	<p>Представление в пространстве состояний. Некоторые математические сведения.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- уравнение системы в нормальной форме;</li> <li>- преобразование уравнений линейных систем в нормальную форму;</li> <li>- общая формула решения системы линейных дифференциальных уравнений;</li> <li>- управляемость и стабилизируемость объекта управления;</li> <li>- наблюдаемость и восстанавливаемость;</li> <li>- канонические формы уравнения и модальное управление;</li> <li>- равномерная непрерывность и лемма Барбалата;</li> <li>- лемма Калмана-Якубовича;</li> <li>- векторное дифференцирование.</li> </ul>
2	<p>Нелинейные системы. Метод фазовой плоскости.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- нелинейные статические характеристики, особенности нелинейных систем;</li> <li>- определение устойчивости;</li> <li>- орбитальная устойчивость, автоколебания;</li> <li>- изображение процессов на фазовой плоскости;</li> <li>- фазовые портреты и типы особых точек;</li> <li>- метод фазовой плоскости анализа и синтеза систем.</li> </ul>
3	<p>Метод гармонической линеаризации.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- гармоническая линеаризация;</li> <li>- вычисление коэффициентов гармонической линеаризации при симметричных колебаниях;</li> <li>- исследование симметричных автоколебаний;</li> <li>- несимметричные колебания;</li> <li>- вынужденные колебания и вибрационная линеаризация.</li> </ul>
4	<p>Метод функций Ляпунова.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- знакопостоянные и знакоопределенные функции;</li> <li>- устойчивость неавтономных систем;</li> <li>- устойчивость автономных систем;</li> <li>- устойчивость при постоянно действующих возмущениях;</li> <li>- исследование нелинейных систем по линейному приближению;</li> <li>- оценка времени регулирования;</li> <li>- методы построения функций Ляпунова.</li> </ul>
5	<p>Абсолютная устойчивость.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p>

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- система сравнения, необходимое условие абсолютной устойчивости;</li> <li>- прямой метод Ляпунова исследования абсолютной устойчивости;</li> <li>- частотные методы исследования абсолютной устойчивости;</li> <li>- квадратичный критерий абсолютной устойчивости;</li> <li>- круговой критерий абсолютной устойчивости.</li> </ul>
6	<p>Линеаризация обратной связью.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обычная линеаризация и ее недостатки.</li> <li>- линеаризация обратной связью.</li> <li>- некоторые сведения из дифференциальной геометрии.</li> <li>- линеаризация обратной связью по состоянию.</li> <li>- линеаризация обратной связью по выходу.</li> <li>- нуль-динамика и синтез алгоритмов управления.</li> </ul>
7	<p>Системы большой размерности. Векторная функция Ляпунова.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- дифференциальные неравенства;</li> <li>- экспоненциальная устойчивость, теорема Красовского;</li> <li>- декомпозиция и децентрализация;</li> <li>- векторные функции Ляпунова.</li> </ul>
8	<p>Методы синтеза систем управления.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- метод обратной задачи динамики;</li> <li>- синтез систем с переменной структурой;</li> <li>- синтез систем, основанный на методе функций Ляпунова;</li> <li>- синтез систем методом линеаризации обратной связью;</li> <li>- синтез стабилизирующих законов управления методом декомпозиции.</li> </ul>
9	<p>Методы теории оптимального управления.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- общие положения и постановка задачи;</li> <li>- метод множителей Лагранжа (методы классического вариационного исчисления);</li> <li>- принцип максимума Понтрягина;</li> <li>- метод динамического программирования.</li> </ul>
10	<p>Синтез оптимальных детерминированных систем управления.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- наблюдатели;</li> <li>- метод фазовой плоскости синтеза оптимальной по быстродействию системы;</li> <li>- синтез оптимальной по интегральному квадратичному критерию нестационарной линейной системы управления;</li> <li>- синтез оптимальной по интегральному квадратичному критерию стационарной линейной системы управления;</li> <li>- синтез оптимального линейного регулятора выхода;</li> <li>- синтез оптимальной системы по критерию обобщенной работы;</li> <li>- метод прогонки решения задачи синтеза оптимальной линейной системы;</li> <li>- синтез оптимальных систем управления методом декомпозиции.</li> </ul>
11	<p>Синтез оптимальных фильтров и стохастических оптимальных систем управления.</p> <p>Адаптивные системы управления.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- некоторые типы случайных процессов;</li> <li>- винеровская задача оптимальной фильтрации;</li> <li>- фильтры Калмана-Бьюси;</li> </ul>

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- стохастические оптимальные системы.

## 4.2. Занятия семинарского типа.

### Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Терминология ТАУ. Передаточная функция линейной САУ. В результате выполнения практического задания рассматриваются передаточные функции САУ.
2	Передаточные функции типовых звеньев. В результате выполнения практического задания рассматриваются передаточные функции типовых звеньев.
3	Переходная функция САУ. Переходные функции 6 звеньев. В результате выполнения практического задания рассматриваются переходные функции САУ.
4	Моделирование переходных функций. В результате выполнения практического задания рассматриваются методы моделирования переходных функций.
5	Частотные характеристики САУ. В результате выполнения практического задания рассматриваются частотные характеристики САУ.
6	Частотные характеристики 6 звеньев. В результате выполнения практического задания рассматриваются частотные характеристики 6 звеньев.
7	Моделирование ЧХ. В результате выполнения практического задания рассматриваются методы моделирования ЧХ.
8	ЛАЧХ 6 звеньев. В результате выполнения практического задания рассматриваются ЛАЧХ 6 звеньев.
9	Моделирование ЛАЧХ. В результате выполнения практического задания рассматриваются методы моделирования ЛАЧХ.
10	Передаточные функции соединений. В результате выполнения практического задания рассматриваются передаточные функции соединений.
11	ЧХ последовательных соединений. В результате выполнения практического задания рассматриваются ЧХ.
12	Переходные функции параллельного соединения. ПИД-регулятор. В результате выполнения практического задания рассматриваются переходные функции параллельного соединения.
13	Звено 2 порядка – передаточная и переходная функции. В результате выполнения практического задания рассматриваются передаточная и переходная функции звена 2 порядка.
14	Моделирование переходной функции звена 2 порядка. В результате выполнения практического задания рассматриваются методы моделирования переходной функции звена 2 порядка.
15	Звено 2 порядка – АЧХ, ФЧХ, годограф и ЛАЧХ. В результате выполнения практического задания рассматриваются АЧХ, ФЧХ, годограф и ЛАЧХ звена 2 порядка.
16	Моделирование частотных характеристик звена 2 порядка. В результате выполнения практического задания рассматриваются методы моделирования частотных

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
	характеристик звена 2 порядка
17	Устойчивость линейных САУ – базовые определения. В результате выполнения практического задания рассматривается устойчивость линейных САУ.
18	Алгебраические критерии устойчивости. В результате выполнения практического задания рассматриваются алгебраические критерии устойчивости.
19	Частотные критерии устойчивости. В результате выполнения практического задания рассматриваются частотные критерии устойчивости.
20	Построение областей устойчивости. В результате выполнения практической работы для характеристического уравнения проводится построение кривых D-разбиения по неизвестным параметрам и определяется область устойчивости.
21	Построение переходных процессов в линейных системах автоматического управления. В результате выполнения практической работы по таблице значений ВЧХ системы проводится построение графика переходного процесса системы методом трапеций.
22	Параметрический синтез линейных систем регулирования корневым методом. В результате выполнения практической работы для регулятора проводится настройка параметров в одноконтурной системе регулирования.
23	Автоматические системы регулирования при случайных воздействиях. В результате выполнения практической работы для передаточной функции проводится определение дисперсии ошибки регулирования в одноконтурной системе.
24	Импульсные системы. В результате выполнения практической работы для передаточной функции разомкнутой импульсной системы проводится оценка устойчивости замкнутой импульсной системы.

#### 4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Текущая подготовка к практическим занятиям.
2	Выполнение курсовой работы.
3	Подготовка к промежуточной аттестации.
4	Подготовка к текущему контролю.

#### 4.4. Примерный перечень тем курсовых работ

Курсовая работа направлена на самостоятельное изучение основных приемов построения автоматизированных систем управления НТТК. Цель работы: оптимизация типичной линейной системы автоматического управления (САУ) с использованием программного пакета моделирования систем VisSim. В задачи работы входит:

- анализ задания и исходных данных;
- описание принципа действия САУ;

- построение структурно-аналитической модели САУ;
- оценка устойчивости и стабилизация САУ;
- оптимизация модели;
- оценка качества модели.

Для выполнения курсовой работы студент должен владеть знаниями по управлению техническими системами и смежным дисциплинам, должен уметь пользоваться справочной литературой. Объем КР составляет 15-20 страниц в виде расчетно-пояснительной записки с поясняющими схемами, рисунками и расчетами.

Пример. Тема курсовой работы:

"Анализ и оптимизация САУ частоты вращения вала двигателя постоянного тока (САУ ЧВ ДПТ) Вар\_№".

Примечание: Вар\_№ (№ - номер варианта задания).

Задание: построить модель САУ, исследовать ее, оптимизировать и оценить качество полученной САУ.

Исходные данные: функциональная схема САУ ЧВДПТ и параметры ее элементов.

Дополнительное задание:

Исследовать САУ, учитывая нелинейность тиристорного преобразователя. Вид нелинейности: усиление с ограничением. Уровень ограничения, приведенный к входу ТП, составляет  $0.2(1 + 0.1N)$ .

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	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.	URL: <a href="https://urait.ru/bcode/491183">https://urait.ru/bcode/491183</a> (дата обращения: 12.04.2023). - Текст: электронный.
2	Жмудь, В. А. Моделирование замкнутых систем автоматического управления : учебное пособие для вузов / В. А. Жмудь. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 128 с.	URL: <a href="https://urait.ru/bcode/492073">https://urait.ru/bcode/492073</a> (дата обращения: 12.04.2023). - Текст: электронный.
3	Антимиров, В. М. Системы автоматического управления : учебное пособие для вузов / В. М. Антимиров ; под научной редакцией В. В. Телицина. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 91 с.	URL: <a href="https://urait.ru/bcode/492240">https://urait.ru/bcode/492240</a> (дата обращения: 12.04.2023). - Текст: электронный.



4	Шойко, В. П. Автоматическое регулирование в электрических системах : учебное пособие / В. П. Шойко. — 2-е изд. — Новосибирск : НГТУ, 2017. — 195 с. — ISBN 978-5-7782-3371-3.	URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/118159">https://e.lanbook.com/book/118159</a> (дата обращения: 12.04.2023). - Текст: электронный.
5	Карпов, А. Г. Цифровые системы автоматического регулирования : учебное пособие / А. Г. Карпов. — Москва : ТУСУР, 2015. — 216 с. — ISBN 978-5-86889-716-0.	URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/110296">https://e.lanbook.com/book/110296</a> (дата обращения: 12.04.2023). - Текст: электронный.
6	Озеркин, Д. В. Основы автоматики и системы автоматического управления : учебное пособие / Д. В. Озеркин. — Москва : ТУСУР, 2012. — 179 с.	URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/10906">https://e.lanbook.com/book/10906</a> (дата обращения: 12.04.2023). - Текст: электронный.
7	Управление наземными транспортно-технологическими средствами: учебник /В.В. Шаповалов и др. — ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2018. — 263 с.	URL: <a href="http://umczdt.ru/books/40/18736">http://umczdt.ru/books/40/18736</a> (дата обращения: 12.04.2023). - Текст: электронный.

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

Официальный сайт РУТ (МИИТ) (<https://www.miit.ru/>)

Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (<http://library.miit.ru>)

Образовательная платформа «Юрайт» (<https://urait.ru/>)

Общие информационные, справочные и поисковые «Консультант Плюс» (<http://www.consultant.ru/>),

«Гарант» (<http://www.garant.ru/>),

Главная книга (<https://glavkniga.ru/>)

Электронно-библиотечная система издательства (<http://e.lanbook.com/>)

Электронно-библиотечная система [ibooks.ru](http://ibooks.ru) (<http://ibooks.ru/>)

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

Microsoft Office (Word, PowerPoint); VisSim.

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

1. Рабочее место преподавателя с персональным компьютером, подключённым к сетям INTERNET.

2. Программное обеспечение для создания текстовых и графических

документов, презентаций.

3. Специализированная лекционная аудитория с мультимедиа аппаратурой.

4. Компьютерный класс для проведения практических занятий.

9. Форма промежуточной аттестации:

Курсовая работа в 3 семестре.

Экзамен в 3 семестре.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

доцент, к.н. кафедры «Наземные  
транспортно-технологические  
средства»

А.И. Пушкин

Согласовано:

Заведующий кафедрой НТТС  
Председатель учебно-методической  
комиссии

А.Н. Неклюдов

С.В. Володин