

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ
Директор по образовательной
деятельности

_____ С.Т. Князев
«__» _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1149032	Теоретические основы автоматического управления

Екатеринбург

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
Образовательная программа 1. Кибер-производство 2. Гибкие производственные системы	Код ОП 1. 15.04.06/33.02 2. 15.04.04/33.01
Направление подготовки 1. Мехатроника и робототехника; 2. Автоматизация технологических процессов и производств	Код направления и уровня подготовки 1. 15.04.06; 2. 15.04.04

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Сусенко Олег Сергеевич	кандидат технических наук, доцент	Доцент	электронного машиностроения

Согласовано:

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Теоретические основы автоматического управления

1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль формирует способность в рамках научно-исследовательской и проектно-конструкторской деятельности формировать и исследовать системы управления автоматизированных производств; структурировать гибкие производственные системы и интегрировать в них робототехнические комплексы; исследовать и структурировать системы управления роботизированных систем. Практические мероприятия модуля позволяют приобрести навык применения теоретических знаний автоматического управления роботизированными системами.

1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Теория автоматического управления для мехатронных, роботизированных и автоматизированных систем	6
ИТОГО по модулю:		6

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Не предусмотрены
Постреквизиты и кореквизиты модуля	1. Приводы и управление для мехатронных, роботизированных и автоматизированных систем

1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Теория автоматического управления для мехатронных, роботизированных	УК-7 - Способен обрабатывать, анализировать, передавать данные и информацию с	З-3 - Сделать обзор современных цифровых средств и технологий, используемых для обработки, анализа и передачи данных при решении поставленных задач

ых и автоматизированных систем	использованием цифровых средств для эффективного решения поставленных задач с учетом требований информационной безопасности	У-2 - Выбирать современные цифровые средства и технологии для обработки, анализа и передачи данных с учетом поставленных задач
	ПК-2 - Способен структурировать гибкие производственные системы и интегрировать в них робототехнические комплексы. (Гибкие производственные системы)	З-1 - Понимать законы автоматического управления оборудованием гибких производственных систем и робототехнических комплексов У-1 - Исследовать и структурировать системы управления гибкими производственными системами и роботехническими комплексами П-1 - Владеть методами построения и структурирования систем управления оборудованием гибких производственных систем и робототехнических комплексов
	ПК-2 - Способен структурировать гибкие производственные системы и интегрировать в них робототехнические комплексы (Кибер-производство)	З-1 - Понимать законы автоматического управления роботизированными системами. У-1 - Исследовать и структурировать системы управления робототехнических комплексов П-1 - Владеть методами построения и структурирования систем управления робототехнических комплексов

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Теория автоматического управления для
мехатронных, роботизированных и
автоматизированных систем

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Сусенко Олег Сергеевич	кандидат технических наук, доцент	Доцент	электронного машиностроения

Рекомендовано учебно-методическим советом института Новых материалов и технологий

Протокол № 20210531-01 от 31.05.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- С применением электронного обучения на основе электронных учебных курсов, размещенных на LMS-платформах УрФУ
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Анализ линейных непрерывных систем	Общий смысл понятия устойчивости и его приложение к системам автоматического управления. Понятие процесса в системе; вынужденная и свободная составляющие процесса; затухание свободной составляющей в устойчивой системе. Установившийся и переходный режим в системе. Дифференциальное уравнение свободной составляющей; характеристическое уравнение системы. Влияние вида корней характеристического уравнения системы на характер свободной составляющей. Формулировка условия устойчивости линейной системы по виду корней ее характеристического уравнения. Случай нахождения системы на границе устойчивости (апериодическая и колебательная граница устойчивости). Правило составления главного определителя Гурвица и определителей Гурвица низших порядков. Критерий устойчивости Гурвица. Частные случаи применения критерия Гурвица к системам 1-го, 2-го и 3-го порядков, необходимые и достаточные условия устойчивости таких систем. Случаи нахождения системы на границе устойчивости. Постановка задачи (определение устойчивости замкнутой системы по АФЧХ разомкнутой системы). Общая формулировка критерия Найквиста; правило переходов. Частный случай формулировки критерия Найквиста при устойчивой разомкнутой системе. Правило определения устойчивости замкнутой системы по ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы. Запасы устойчивости по амплитуде и по

		<p>фазе. Понятие о структурной и параметрической неустойчивости системы. Условие устойчивости импульсной системы. Понятия установившегося режима САУ и установившейся ошибки. Требования к установившимся ошибкам САУ в типовых режимах. Передаточная функция САУ относительно ошибки. Общая формула вычисления установившейся ошибки. Коэффициенты ошибок. Частные случаи вычисления установившихся ошибок в типовых режимах САУ: статический режим, режим изменения управляемой величины с постоянной скоростью, режим изменения управляемой величины с постоянным ускорением. Порядок астатизма САУ, способы определения порядка астатизма. Расчёт установившейся ошибки при одновременном действии задающего и возмущающего воздействий. Условие астатизма системы по возмущению. Типовой вид переходных функций САУ. Показатели качества, определяемые по переходной функции САУ: время первого согласования, время достижения максимума, время переходного процесса, максимальное перерегулирование, декремент затухания колебаний. Максимальное значение АЧХ, его связь с колебательностью процессов; резонансная частота системы. Полоса пропускания и частота среза системы, их связь с быстродействием и временем переходного процесса системы. Влияние полосы пропускания на помехозащищенность САУ. Оценка качества переходных процессов САУ по величине запасов устойчивости. Влияние расположения полюсов системы на вид переходных процессов САУ. Показатели качества, определяемые по полюсам системы. Оценка времени переходного процесса и колебательности по корневым показателям. Понятие о пространстве состояний, модели типа «вход-состояние-выход». Векторы состояния, управления, возмущений и наблюдаемых величин. Уравнение состояния и уравнение наблюдения, их матричная и скалярная форма записи. Структурная схема модели системы в пространстве состояний. Преобразование классической модели объекта к модели в пространстве состояний. 6 Фундаментальная матрица системы. Матричное характеристическое уравнение и условие устойчивости. Понятие управляемости системы. Математическое условие управляемости. Понятие наблюдаемости системы. Математическое условие наблюдаемости.</p>
<p>P2</p>	<p>Синтез линейных непрерывных систем</p>	<p>Назначение корректирующих устройств (регуляторов), возможные схемы их включения в систему. Классификация корректирующих устройств (последовательные, параллельные). Типовые регуляторы: П-, И-, Д-, ПИ-, ПД-, ИД-, ПИД- регуляторы. Постановка задачи синтеза корректирующих устройств. Выбор желаемой передаточной функции из условия желаемого расположения корней характеристического уравнения. Типовые способы распределения корней характеристического уравнения: биномиальное распределение, распределение по Баттерворту. Вид переходных функций системы и показатели качества при типовом распределении корней. Выбор среднегеометрического корня характеристического уравнения. Структура и принципы построения многоконтурной системы подчинённого</p>

		<p>регулирования. Методика синтеза регуляторов. Компенсация установившихся ошибок (статической, скоростной) от задающего и возмущающего воздействий по принципу компенсации. Компенсация внутренних обратных связей объекта управления. Компенсация влияния звена чистого запаздывания в замкнутой системе. Структурная схема системы модального управления и уравнение модального регулятора. Принцип определения параметров модального регулятора. Обеспечение желаемого статического коэффициента передачи системы с модальным регулятором.</p>
Р3	<p>Основы теории линейных дискретных систем</p>	<p>Классификация дискретных САУ. Основные понятия об импульсных САУ. Примеры импульсных систем, использующих принцип амплитудно-импульсной модуляции и широтно импульсной модуляции. Примеры систем с релейными регуляторами. Принцип работы цифровой системы с программируемым управляющим устройством. Линейные дискретные модели САУ. Дискретные функции времени. Дискретные звенья. Разностные уравнения. Z-преобразование и его свойства. Таблица z-преобразования. Связь между преобразованием Лапласа непрерывных функций и z преобразованием дискретных функций. Дискретные передаточные функции (ДПФ). Переход от ДПФ звена к его уравнению во временной области. Математическое описание импульсного элемента с фиксатором. Линейная модель импульсной системы. Передаточные функции импульсной системы. Условие устойчивости импульсной системы. Оценка качества переходных процессов в импульсных системах. Способы приближенного дискретного интегрирования: метод прямоугольников (с запаздыванием, с опережением), метод трапеций. Аппроксимация непрерывной передаточной функции дискретной передаточной функцией. Восстановление непрерывной передаточной функции по известной дискретной передаточной функции. Выбор периода дискретности САУ. Нахождение алгоритма работы цифрового регулятора во временной области по известной передаточной функции аналогового регулятора.</p>
Р4	<p>Основы теории нелинейных систем</p>	<p>Определение нелинейной системы. Естественные и искусственно введенные нелинейности САУ. Статические и динамические нелинейности. Одномерные и многомерные нелинейности. Слабые и существенные нелинейности. Однозначные и неоднозначные нелинейности. Типовые нелинейности САУ: насыщение; зона нечувствительности; люфт; релейные характеристики. Нелинейные модели САУ. Невыполнение принципа суперпозиции для нелинейных звеньев. Неприменимость методов теории линейных систем для анализа и синтеза нелинейных систем. Понятие о технической линеаризации нелинейностей. Метод вибрационной линеаризации на примере нелинейности релейного типа. Метод компенсации нелинейностей объекта управления. Понятие о математической линеаризации. Линеаризация «в малом» по методу разложения в ряд Тейлора. Линеаризация «в малом» одномерных и многомерных нелинейностей. Сущность метода гармонической линеаризации (гармонического баланса). Передаточная</p>

		<p>функция гармонически линеаризованного звена. Определение коэффициентов гармонической линеаризации. Анализ поведения нелинейной системы на фазовой плоскости. Особенности анализа равновесных режимов нелинейных систем. Устойчивость положений равновесия системы. Постановка задачи исследования устойчивости состояния равновесия «в малом». Первый и второй методы Ляпунова. Понятие об устойчивости системы «в малом», «в большом» и «в целом». Понятие абсолютной устойчивости. Частотный метод исследования абсолютной устойчивости В.М. Попова. Графическое представление критерия абсолютной устойчивости. Режим автоколебаний в нелинейной системе. Природа возникновения автоколебаний. Симметричные и несимметричные автоколебания. Мягкий и жесткий режим возбуждения автоколебаний. Устойчивые и неустойчивые автоколебания. Гипотеза фильтра для линейной части системы для случаев симметричных и несимметричных автоколебаний. Гармоническая линеаризация системы, работающей в режиме автоколебаний. Алгебраический метод определения параметров (амплитуды и частоты) симметричных автоколебаний. Частотный критерий устойчивости автоколебаний. Оптимальные системы управления. Задачи оптимального управления. Критерии оптимальности. Методы теории оптимального управления: классическое вариационное исчисление, принцип максимума, динамическое программирование. Системы управления оптимальные по быстрдействию, оптимальные по расходу ресурсов и расходу энергии. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов. Робастные системы и адаптивное управление.</p>
--	--	--

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Теория автоматического управления для мехатронных, роботизированных и автоматизированных систем

Электронные ресурсы (издания)

1. Иванов, В. А.; Теория дискретных систем автоматического управления : учебное пособие. 3. ; МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва; 2013; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258542> (Электронное издание)
2. Цветкова, О. Л.; Теория автоматического управления : учебник.; Директ-Медиа, Москва|Берлин; 2016; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=443415> (Электронное издание)
3. Пищухина, Т. А.; Теория автоматического управления : учебно-методическое пособие. 1. ; Оренбургский государственный университет, Оренбург; 2016; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481786> (Электронное издание)

4. Федосенков, Б. А.; Теория автоматического управления: классические и современные разделы : учебное пособие.; Кемеровский государственный университет, Кемерово; 2018; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495195> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Ерофеев, А. А.; Теория автоматического управления : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям "Автоматизация и упр.", "Систем. анализ и упр.".; Политехника, Санкт-Петербург; 2005 (25 экз.)
2. Шишмарев, В. Ю.; Теория автоматического управления : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)"; Академия, Москва; 2012 (1 экз.)
3. Петраков, Ю. В., Драчев, О. И.; Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. 220100 - Систем. анализ и упр.; Машиностроение, Москва; 2008 (4 экз.)
4. Донской, Н. В., Донской, Н. В.; Теория автоматического управления : учебное пособие.; Издательство Чувашского университета, Чебоксары; 2015 (2 экз.)
5. Лейбов, Р. Л.; Прикладные методы теории управления : учебное пособие для студентов ВПО, обучающихся по программе бакалавриата по направлению подготовки 270800 "Строительство"; АСВ, Москва; 2014 (1 экз.)
6. Иванов, А. А.; Управление в технических системах : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подгот. "Автоматизация технол. процессов и производств" (отрасль машиностроение); ФОРУМ, Москва; 2012 (1 экз.)
7. Пупков, К. А., Егупов, Н. Д., Фалдин, Н. В.; Методы синтеза оптимальных систем автоматического управления : учебник для студентов вузов, обучающихся по машиностроит. и приборостроит. специальностям.; Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва; 2000 (11 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

<http://lib.urfu.ru> – Зональная научная библиотека УрФУ

<http://elibrary.ru> – Научная электронная библиотека Elibrary.ru

<http://standartgost.ru/> – Открытая база ГОСТов

<http://www.gpntb.ru> - Государственная публичная научно-техническая библиотека

<http://www.rsl.ru> - Российская государственная библиотека

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

<https://elearn.urfu.ru/enrol/index.php?id=4531> - Курс в СДО MOODLE "Управление в автоматизированных и мехатронных системах (+ ТАУ)"

http://www.edu.ru/db/portal/sites/res_page.htm – Федеральные образовательные ресурсы

http://window.edu.ru/catalog/p_rubr=2.1 - Единое окно доступа к образовательным ресурсам

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Теория автоматического управления для мехатронных, роботизированных и автоматизированных систем

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Персональные компьютеры по количеству обучающихся Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Mathcad 14 Matlab R2015a + Simulink

		санитарными правилами и нормами Подключение к сети Интернет	
3	Лабораторные занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Персональные компьютеры по количеству обучающихся Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Mathcad 14 Matlab R2015a + Simulink SCAD Office (SCAD-FULL-PLUS-MAX)
4	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Персональные компьютеры по количеству обучающихся Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Mathcad 14 Matlab R2015a + Simulink SCAD Office (SCAD-FULL-PLUS-MAX)
5	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		санитарными правилами и нормами Подключение к сети Интернет	
6	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Персональные компьютеры по количеству обучающихся Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM