

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»
АРЗАМАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института:

_____ Глебов В.В.
« 22 » июня 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.05 Теория управления

(индекс и наименование дисциплины по учебному плану)

для подготовки магистров

Направление подготовки 01.04.04 Прикладная математика

(код и направление подготовки)

Направленность Системы управления и обработки информации в инженерии

(наименование профиля, программы магистратуры)

Форма обучения очно-заочная

(очная, очно-заочная, заочная)

Год начала подготовки 2020

Объем дисциплины 144/4

(часов/з.е)

Промежуточная аттестация экзамен

(экзамен, зачет с оценкой, зачет)

Выпускающая кафедра Прикладная математика

(наименование кафедры)

Кафедра-разработчик Прикладная математика

(наименование кафедры)

Разработчик(и): Пакшин П.В., д.ф.-м.н, профессор

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

г. Арзамас
2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 01.04.04 Прикладная математика, утвержденного приказом Минобрнауки России от 10 января 2018 № 15, на основании учебного плана, принятого Ученым советом АПИ НГТУ, протокол от 09.06.2021 г. № 4

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры, протокол от 22.06.2021 № 5/1

Заведующий кафедрой _____ Пакшин П.В.
(подпись) (ФИО)

Рабочая программа рекомендована к утверждению УМК АПИ НГТУ,
протокол от 22.06.2021 г. № 15

Зам. директора по УР _____ Шурыгин А.Ю.
(подпись)

Рабочая программа зарегистрирована в учебном отделе № 01.04.04-05

Начальник УО _____ Мельникова О.Ю.
(подпись)

Заведующая отделом библиотеки _____ Старостина О.Н.
(подпись)

Оглавление

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	4
1.1. Цель освоения дисциплины (модуля)	4
1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля)	4
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	5
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	6
4.1 Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ по семестрам	6
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам, темам	6
5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	8
5.1. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания	8
5.2. Оценочные средства для контроля освоения дисциплины	11
5.2.1 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в ходе текущего контроля успеваемости	11
5.2.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе промежуточной аттестации по дисциплине	14
5.3. Процедура оценивания результатов обучения по дисциплине	16
6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	18
6.1 Основная литература	18
6.2 Дополнительная литература	18
6.3 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям	18
7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	18
7.1 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля), включая электронные библиотечные и информационно-справочные системы	18
7.2 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства необходимого для освоения дисциплины	18
8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ	18
9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)	19
10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	20
10.1 Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии	20
10.2 Методические указания для занятий лекционного типа	20
10.3 Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах	21
10.4 Методические указания по освоению дисциплины на занятиях семинарского типа	21
10.5 Методические указания по самостоятельной работе обучающихся	21
10.6 Методические указания по обеспечению образовательного процесса	22

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1. Цель освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является подготовка студентов к выполнению профессиональных задач в рамках трудовой деятельности по профессиональному стандарту 40.011 «Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок» в рамках обобщенной трудовой функции «Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок при исследовании самостоятельных тем» и изучение основ теории управления в рамках нелинейных моделей.

1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля)

- Анализ систем второго порядка на фазовой плоскости
- Глобальная устойчивость
- Орбитальная устойчивость и анализ предельных циклов
- Синтез управления

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Теория управления» относится к обязательной части ОП ВО.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Математический анализ», «Линейная алгебра и аналитическая геометрия», «Физика», «Дифференциальные уравнения», «Теория функций комплексного переменного», «Моделирование в MATLAB», «Методы оптимизации», «Матричные уравнения и неравенства», «Теория управления» в объеме программы по направлению подготовки бакалавров 01.03.04 «Прикладная математика».

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при изучении следующих дисциплин «Навигационные системы», «Оптимальное управление динамическими системами», «Нечеткие модели», «Современная теория управления», «Научно-исследовательская работа» и при выполнении выпускной квалификационной работы.

Рабочая программа дисциплины «Теория управления» для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Процесс изучения дисциплины «Теория управления» направлен на формирование элементов общепрофессиональной компетенции ОПК-2 и профессиональной компетенции ПКС-4 в соответствии с ОП ВО по направлению подготовки 01.04.04 «Прикладная математика».

Таблица 3.1 – Формирование компетенций дисциплинами

Код компетенции / наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования дисциплины				
	Компетенции берутся из УП по направлению подготовки магистра				
	1	2	3	4	5
ОПК-2					
Теория управления	✓				
Логика и архитектура вычислительных сред			✓		
Функциональный анализ			✓		
Преддипломная практика					✓
Выполнение и защита ВКР					✓
ПКС-4					
Теория управления	✓				
Принципы построения математических моделей		✓			
Оптимальное управление динамическими системами		✓			
Вычислительная математика			✓		
Стохастическое моделирование				✓	
Научно-производственная практика				✓	
Современная теория управления					✓
Преддипломная практика					✓
Выполнение и защита ВКР					✓

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине «Теория управления», соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП, представлен в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине		
ОПК-2 Способен разрабатывать и развивать математические методы моделирования объектов, процессов и систем в области профессиональной деятельности	ИОПК-2.2.Выбирает и модифицирует математические методы моделирования объектов, процессов и систем для решения профессиональных задач.	Знать: Особенности динамики нелинейных систем. Понятия предельного цикла и скользящего режима	Уметь: Моделировать нелинейные системы управления на базе современного программного обеспечения	Владеть: техникой компьютерного моделирования нелинейных систем управления на основе современного программного обеспечения, в частности в среде MATLAB/SIMULINK
ПКС-4 Способен проводить научные эксперименты, оценивать результаты исследований	ИПКС-4.2.Проводит теоретические и экспериментальные исследования объектов, процессов и систем.	Знать: Понятия абсолютной и орбитальной устойчивости нелинейных систем Методы анализа абсолютной устойчивости Методы синтеза управления на основе оптимальной функции Ляпунова и на основе линеаризации обратной связью.	Уметь: Выполнять расчет автоколебаний нелинейной системы и анализировать орбитальную устойчивость соответствующего предельного цикла Проводить анализ абсолютно устойчивости. Синтезировать законы управления	Владеть: Современным программным обеспечением для расчета и проектирования систем управления, в частности программным приложением «ControlSystemToolbox» пакета MATLAB

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

4.1 Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зач. ед. или 144 часа, распределение часов по видам работ по семестрам представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ по семестрам для студентов очно-заочной формы обучения

Вид учебной работы	Трудоемкость в час	
	Всего час.	В т.ч. по семестрам
		1 семестр
Формат изучения дисциплины	с использованием элементов электронного обучения	
Общая трудоемкость дисциплины по учебному плану	144	144
1. Контактная работа:	26	26
1.1. Аудиторная работа, в том числе:	20	20
занятия лекционного типа (Л)	4	4
занятия семинарского типа (ПЗ – семинары, практические занятия и др.)	8	8
лабораторные работы (ЛР)	8	8
1.2. Внеаудиторная, в том числе	6	6
курсовая работа (проект) (КР/КП) (консультация, защита)		
текущий контроль, консультации по дисциплине	4	4
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	2	2
2. Самостоятельная работа (СРС)	118	118
реферат/эссе (подготовка)		
расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)		
контрольная работа		
курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)		
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиум и т.д.)	82	82
Подготовка к экзамену (контроль)*	36	36
Подготовка к зачету / зачету с оценкой (контроль)		

4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам, темам

Таблица 4.2 – Содержание дисциплины, структурированное по темам, для студентов очно-заочной формы обучения

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов	
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7
1 семестр						
ОПК-2 ИОПК-2.2 ПКС-4 ИПКС-4.2	Раздел 1. Особенности динамики нелинейных систем					
	Тема 1.1 Системы второго порядка и фазовая плоскость. Примеры траекторий на фазовой плоскости. Анализ траекторий в окрестности положения равновесия. Виды положений равновесия линейных систем второго порядка Тема 1.2 Множественность состояний равновесия нелинейных систем и многорежимность поведения. Предельные циклы. Скользящие режимы.	1			4	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.2.1]

1	2	3	4	5	6	7
	Практическая работа №1. Решение задач по исследованию систем второго порядка методом фазовой плоскости.			2	4	Подготовка к практическим занятиям [6.1.1], [6.1.2]
	Лабораторная работа №1. Анализ системы «генератор-двигатель на фазовой плоскости»		2		4	Подготовка к лабораторным занятиям [6.1.2], [6.3.1]
	Итого по 1 разделу	1	2	2	12	
	Раздел 2. Глобальная устойчивость					
	Тема 2.1 Устойчивость в целом. Теорема Барбашина-Красовского. Задача об абсолютной устойчивости. Гипотезы Айзермана и Калмана. Тема 2.2. Решение задачи об абсолютной устойчивости вторым методом Ляпунова. Функция Ляпунова вида Лурье-Постникова. Тема 2.3 Частотный критерий абсолютной устойчивости В.М. Попова. Лемма Калмана-Якубовича-Попова. Круговой критерий абсолютной устойчивости.	1			8	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.2.1]
	Практическая работа №2. Решение задач по анализу абсолютной устойчивости. Детальный разбор доказательства леммы Калмана-Якубовича-Попова.			2	6	Подготовка к практическим занятиям [6.1.1], [6.1.2]
	Лабораторная работа №2. Проверка гипотез Айзермана и Калмана		2		6	Подготовка к лабораторным занятиям [6.1.2], [6.3.1]
	Итого по 2 разделу	1	2	2	20	
	Раздел 3. Орбитальная устойчивость и анализ предельных циклов					
	Тема 3.1 Предельные циклы в системах второго порядка и их орбитальная устойчивость. Теория Пуанкаре – Бендиксона Тема 3.2 Гармоническая линеаризация. Определение параметров автоколебаний методом гармонической линеаризации и анализ орбитальной устойчивости предельных циклов	1			8	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.2.1]
	Практическая работа №3. Решение задач по применению метода гармонической линеаризации и анализу предельных циклов.			2	8	Подготовка к практическим занятиям [6.1.1], [6.1.2]
	Лабораторная работа №3. Расчет автоколебаний методом гармонической линеаризации и проверка гипотезы фильтра		2		8	Подготовка к лабораторным занятиям [6.1.2], [6.3.1]
	Итого по 3 разделу	1	2	2	24	
	Раздел 4. Методы синтеза					
	Тема 4.1 Синтез управления методом оптимальной функции Ляпунова. Тема 4.2. Линеаризация обратной связью. Синтез управления с помощью линеаризации обратной связью.	1			10	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.2.1]
	Практическая работа №4. Решение задач по линеаризации нелинейных систем обратной связью			2	8	Подготовка к практическим занятиям [6.1.1], [6.1.2]
	Лабораторная работа №4. Синтез управления нелинейной системой на основе линеаризации обратной связью.		2		8	Подготовка к лабораторным занятиям [6.1.2], [6.3.1]
	Итого по 4 разделу	1	2	2	26	
Итого по дисциплине		4	8	8	82	

Используемые активные и интерактивные технологии приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Используемые активные и интерактивные образовательные технологии

Вид занятий	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий
Лекции	Технология развития критического мышления Дискуссионные технологии
Практические занятия, лабораторные работы	Технология развития критического мышления Дискуссионные технологии Тестовые технологии Технологии работы в малых группах Технология коллективной работы Информационно-коммуникационные технологии

5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

Критерии оценивания результатов обучения и процедуры оценивания компетенций, формируемых в рамках данной дисциплины, приводятся в табл. 5.4.

Оценочные процедуры в рамках текущего контроля проводятся преподавателем дисциплины. На лекциях оценивается активность участия в дискуссионных обсуждениях. Практические и лабораторные занятия проводятся в форме выполнения индивидуальных заданий. При выполнении индивидуального практического и лабораторного задания преподавателем оценивается качество выполненного задания, срок его выполнения, качество и срок оформления отчета, ответы на вопросы преподавателя.

Самостоятельная работа включает выполнение самостоятельных заданий в форме индивидуальных заданий.

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе текущей аттестации представлены в табл. 5.1.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе промежуточной аттестации представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.1 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе текущей аттестации

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора компетенции	Показатели контроля успеваемости	Критерии и шкала оценивания		Форма контроля
			0 баллов	1 баллов	
ОПК-2 Способен разрабатывать и развивать математические методы моделирования объектов, процессов и систем в области профессиональной деятельности	ИОПК-2.2. Выбирает и модифицирует математические методы моделирования объектов, процессов и систем для решения профессиональных задач.	Знать: Особенности динамики нелинейных систем. Понятия предельного цикла и скользящего режима	Теоретический материал не изучен или изучен частично.	Теоретический материал изучен.	Контроль участия в дискуссиях на лекциях
		Уметь: Моделировать нелинейные системы управления на базе современного программного обеспечения	Лабораторные и практические задания не выполнены или выполнены частично.	Лабораторные и практические задания выполнены полностью.	Контроль выполнения лабораторных и практических заданий (см. табл. 4.2)
		Владеть: техникой компьютерного моделирования нелинейных систем управления на основе современного программного обеспечения, в частности в среде MATLAB/SIMULINK	Лабораторные и практические задания выполнены некачественно и/или не в срок.	Лабораторные и практические задания выполнены качественно и в срок.	Контроль выполнения лабораторных и практических заданий (см. табл. 4.2)
ПКС-4 Способен проводить научные эксперименты, оценивать результаты исследований	ИПКС-4.2. Проводит теоретические и экспериментальные исследования объектов, процессов и систем.	Знать: Понятия абсолютной и орбитальной устойчивости нелинейных систем Методы анализа абсолютной устойчивости Методы синтеза управления на основе оптимальной функции Ляпунова и на основе линеаризации обратной связью	Теоретический материал не изучен или изучен частично.	Теоретический материал изучен.	Контроль участия в дискуссиях на лекциях
		Уметь: Выполнять расчет автоколебаний нелинейной системы и анализировать орбитальную устойчивость соответствующего предельного цикла, Проводить анализ абсолютной устойчивости. Синтезировать законы управления	Лабораторные и практические задания не выполнены или выполнены частично.	Лабораторные и практические задания выполнены полностью.	Контроль выполнения лабораторных и практических заданий (см. табл. 4.2)
		Владеть: Современным программным обеспечением для расчета и проектирования систем управления, в частности программным приложением «ControlSystemToolbox» пакета MATLAB	Лабораторные и практические задания выполнены некачественно и/или не в срок.	Лабораторные и практические задания выполнены качественно и в срок.	Контроль выполнения лабораторных и практических заданий (см. табл. 4.2)

Таблица 5.2 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе промежуточной аттестации (экзамен)

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора компетенции	Показатели контроля успеваемости	Критерии и шкала оценивания			Форма контроля
			0 баллов	1 балл	2 балла	
ОПК-2 Способен разрабатывать и развивать математические методы моделирования объектов, процессов и систем в области профессиональной деятельности	ИОПК-2.2. Выбирает и модифицирует математические методы моделирования объектов, процессов и систем для решения профессиональных задач.	Знать: Особенности динамики нелинейных систем. Понятия предельного цикла и скользящего режима	Ответ на вопрос отсутствует	Представлен неполный ответ на вопрос	Представлен развернутый ответ на вопрос	Ответ на теоретический вопрос билета
			Ответ на вопрос отсутствует	Представлен неполный ответ на вопрос	Представлен развернутый ответ на вопрос	Ответы на дополнительные вопросы
		Уметь: Моделировать нелинейные системы управления на базе современного программного обеспечения Владеть: техникой компьютерного моделирования нелинейных систем управления на основе современного программного обеспечения, в частности в среде MATLAB/SIMULINK	Задание не выполнено	Задание выполнено с ошибками	Задание выполнено	Решение задач билета
ПКС-4 Способен проводить научные эксперименты, оценивать результаты исследований	ИПКС-4.2. Проводит теоретические и экспериментальные исследования объектов, процессов и систем.	Знать: Понятия абсолютной и орбитальной устойчивости нелинейных систем Методы анализа абсолютной устойчивости Методы синтеза управления на основе оптимальной функции Ляпунова и на основе линеаризации обратной связью	Ответ на вопрос отсутствует	Представлен неполный ответ на вопрос	Представлен развернутый ответ на вопрос	Ответ на теоретический вопрос билета
			Ответ на вопрос отсутствует	Представлен неполный ответ на вопрос	Представлен развернутый ответ на вопрос	Ответы на дополнительные вопросы
		Уметь: Выполнять расчет автоколебаний нелинейной системы и анализировать орбитальную устойчивость соответствующего предельного цикла, Проводить анализ абсолютной устойчивости. Синтезировать законы управления Владеть: Современным программным обеспечением для расчета и проектирования систем управления, в частности программным приложением «ControlSystemToolbox» пакета MATLAB	Задание не выполнено	Задание выполнено с ошибками	Задание выполнено	Решение задач билета

Таблица 5.3 – Соответствие набранных баллов и оценки за промежуточную аттестацию

Баллы за текущую успеваемость*	Баллы за промежуточную аттестацию		Оценка
	Суммарное количество баллов**	Баллы за решение задач**	
0	0-1	0-1	«неудовлетворительно»
1	1	1	«удовлетворительно»
1	1-2	1-2	«хорошо»
1	2	2	«отлично»

*) количество баллов рассчитывается в соответствии с таблицей 5.1.

**) количество баллов рассчитывается в соответствии с таблицей 5.2.

5.2. Оценочные средства для контроля освоения дисциплины

5.2.1 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в ходе текущего контроля успеваемости

Типовые задания к практическим (семинарским) занятиям

1. Система состоит из линейного звена с передаточной функцией $W(p) = \frac{K}{p^2}$ (Рисунок 1)

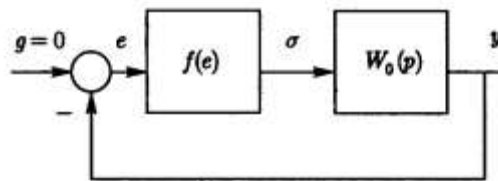


Рисунок 1.

и нелинейного звена имеющего линейную характеристику с зоной нечувствительности и насыщением (Рисунок 2).

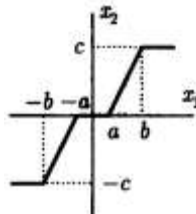


Рисунок 2

Исследовать устойчивость невозмущенного движения $x(t) = 0$ и характер переходного процесса при $K = 5, a = 1, b = 2, c = 1$.

2. Показать, что положение равновесия $y(t) = 0$ следующих систем

$$a) \ddot{y} + 3\dot{y} + 2y + u = 0, \quad b) \ddot{y} + 3\dot{y} + 3y + 2u = 0$$

абсолютно устойчиво в классе нелинейностей $u = f(y, t)$, определяемых локальной квадратичной связью

$$F(y, u) = y^2 - u^2 \geq 0.$$

3. В типовой структурной схеме нелинейной системы (Рисунок.1) нелинейное звено имеет характеристику идеального реле (Рисунок.2) с высотой $c = \pi$, линейная часть имеет передаточную функцию

$$W(p) = \frac{5}{p^3 + 2p^2 + p}$$

и задающее воздействие $g = 0$. Исследовать автоколебания.

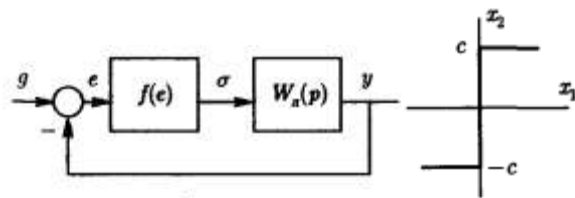


Рисунок.1

Рисунок.2

4. Показать, что преобразование линеаризации обратной связью по выходу системы управления

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= x_2 x_3, \\ \dot{x}_3 &= x_2 + x_3 + u\end{aligned}$$

имеет вид

$$\begin{aligned}z_1 &= x_1, \\ z_2 &= x_2, \\ z_3 &= x_2 x_3, \\ u &= \frac{1}{x_2} [-x_2 x_3^2 - x_2 (x_2 + x_3) + v].\end{aligned}$$

Типовые задания для лабораторных работ

1. Анализ системы «генератор-двигатель» на фазовой плоскости

Рассматривается система, состоящая из последовательного соединения двигателя с генератором. Если такая система рассчитана правильно, то скорость вращения двигателя $\omega(t)$ не зависит от нагрузки. Примем следующие допущения:

1. Магнитные цепи обеих машин насыщаются при одном уровне тока
2. Генератор вращается с постоянной скоростью.
3. Характеристики магнитных цепей машин имеют вид, представленный на рисунке 1.

Уравнения динамики системы имеют вид:

$$\begin{aligned}T \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) &= [M - \psi'' \omega(t)] \omega(t) - T_E \frac{d\psi''(t)}{dt}, \\ T_J \frac{d\omega(t)}{dt} + b\omega(t) + d &= \psi(t)i(t),\end{aligned}$$

(1)

$$\psi(t) = \psi(i(t)),$$

где i – ток цепи, R – активное сопротивление цепи, ψ – магнитный поток, T – постоянная времени электрической цепи, T_E – постоянная времени электромагнитной цепи, T_J – постоянная времени механической части, b – параметр, определяющий момент нагрузки пропорциональный угловой скорости вращения, d – параметр, характеризующий постоянную нагрузку на двигатель.

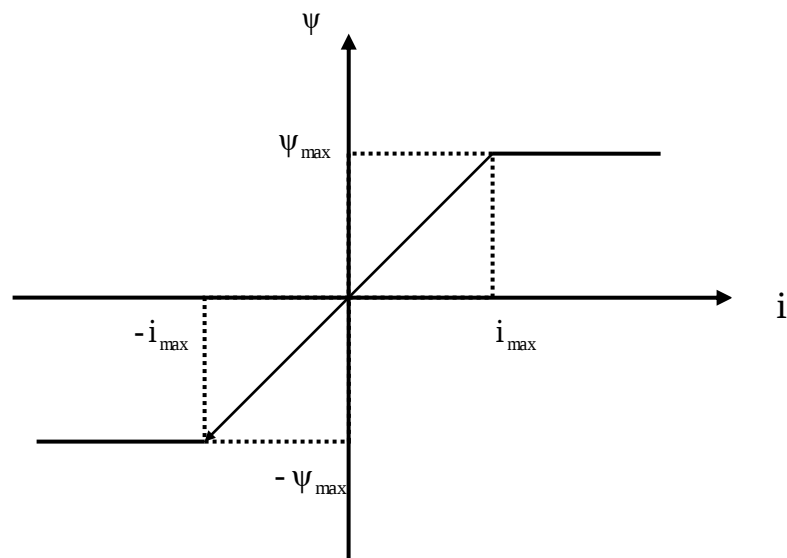


Рис. 1

Разрешим уравнения системы (1) относительно первых производных i и ω . Примем (для удобства расчетов)

и, учитывая, что

$$\frac{d(\psi(i(t)))}{dt} = \frac{d\psi}{di} \frac{di}{dt}, \text{ где}$$

$$\frac{d\psi}{di} = \begin{cases} 0 & i < -i_{\max} \\ 1 & -i_{\max} < i < i_{\max} \\ 0 & i > i_{\max} \end{cases},$$

перепишем первое уравнение из (1) в виде

тогда окончательно

$$\begin{aligned} \frac{di}{dt} &= \frac{(M - \psi(i(t))) (C(i) - Ri)}{(T + T_E) E} \frac{d\psi}{di}, \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{((i(t))i - d - b\omega(t))}{T_J}. \end{aligned}$$

Рассмотрим следующие 2 режима работы системы:

1. $i_{\max} = 1.5, M = 1, R = 0.2, T = 30, T_E = 60, T_J = 50, b = 5, d = 0$.

2. $i_{\max} = 1, M = 1, R = 0.2, T = 30, T_E = 60, T_J = 50, b = 0, d = 1$.

Задание

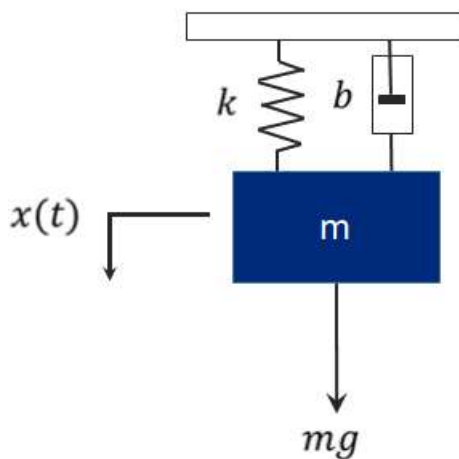
1. Найти положения равновесия из условия того, что $\frac{di}{dt} = 0, \frac{d\psi}{dt} = 0, \frac{d\omega}{dt} = 0$.
2. Проанализировать поведение системы вблизи положения равновесия.
3. Отыскав положение равновесия, линеаризовать систему относительно всех полученных особых точек и вычислив корни характеристического уравнения линеаризованной модели, сделать вывод о характере этих особых точек (узел, фокус, седло).

1. Понятие фазовой плоскости. Различные виды фазовых траекторий в окрестности точек равновесия.
2. Предельные циклы, скользящие режимы и сепаратрисы.
3. Состояния равновесия и зоны равновесных состояний автономных нелинейных систем.
4. Орбитальная устойчивость и устойчивость зон равновесных состояний.
5. Предельные циклы в системах второго порядка и их орбитальная устойчивость.
6. Теоремы Пуанкаре и Бендиксона.

7. Анализ автоколебательной системы второго порядка на основе теорем Пуанкаре и Бендиксона.
8. Гипотезы Айзермана и Калмана о поведении нелинейной системы при больших отклонениях от положения равновесия.
9. Расчет автоколебаний методом гармонической линеаризации.
10. Задача абсолютной устойчивости. Функция Ляпунова вида Лурье-Постникова.
11. Частотный критерий абсолютной устойчивости В.М. Попова
12. Круговой критерий
13. Связь метода Ляпунова с частотными методами. Лемма Якубовича-Калмана (частотная теорема)
14. Синтез управления методом оптимальной функции Ляпунова
15. Линеаризация обратной связью
16. Синтез управления с помощью линеаризации обратной связью.

Примерные задачи

1. На рисунке представлен нелинейный демпфер,



уравнение динамики которого имеет вид

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx^2 = mg.$$

Записать уравнения состояния демпфера, линеаризовать систему относительно положения равновесия ($\ddot{x}=0$, $\dot{x}=0$) и определить характер особой точки. Зависит ли характер этой точки от значений параметров системы?

2. Показать, что положение равновесия $y(t)=0$ следующих систем

$$a) \ddot{y} + 3\dot{y} + 2y + u = 0, \quad b) \ddot{y} + 3\dot{y} + 3y + 2u = 0$$

абсолютно устойчиво в классе нелинейностей $u = f(y, t)$, определяемых локальной квадратичной связью

$$F(y, u) = y^2 - u^2 \geq 0.$$

3. В типовой структурной схеме нелинейной системы (Рис.1) нелинейное звено имеет характеристику идеального реле (Рис.2) с высотой $c = \pi$, линейная часть имеет передаточную функцию

$$W(p) = \frac{5}{p^3 + 2p^2 + p}$$

и задающее воздействие $g = 0$. Исследовать автоколебания.

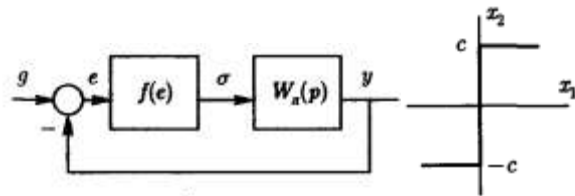


Рис.1

Рис.2

Тестирование по дисциплине не проводится. Оцениваются самостоятельно сформулированные ответы на контрольные вопросы при выполнении и защите лабораторных работ.

5.3. Процедура оценивания результатов обучения по дисциплине

Процедура оценивания формируемых в рамках дисциплины компетенций (элементов компетенций) состоит из следующих этапов:

1. Текущий контроль (описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе текущей аттестации представлены в табл. 5.1, задания в п. 5.2.1).
2. Промежуточная аттестация (описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе промежуточной аттестации представлены в табл. 5.2, задания в п. 5.2.2).

Для всего перечня формируемых компетенций (элементов компетенций) дисциплины приводится процедура оценки результатов обучения (табл. 5.4).

Таблицы 5.4 – Процедура, критерии и методы оценивания результатов обучения

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов				Методы оценивания
	1 критерий – отсутствие усвоения «неудовлетворительно»	2 критерий – не полное усвоение «удовлетворительно»	3 критерий – хорошее усвоение «хорошо»	4 критерий – отличное усвоение «отлично»	
ОПК-2 ИОПК-2.2					
Знать: особенности динамики нелинейных систем. Понятия предельного цикла и скользящего режима	Отсутствие усвоения знаний	Недостаточно уверенно понимает и может объяснять полученные знания	На достаточно высоком уровне понимает и может объяснять полученные знания	Отлично понимает и может объяснять полученные знания, демонстрирует самостоятельную познавательную деятельность	Участие в обсуждении дискуссионных материалов на лекциях Промежуточная аттестация
Уметь: моделировать нелинейные системы управления на базе современного программного обеспечения	Не демонстрирует умения	Неуверенно демонстрирует умения	Достаточно уверенно демонстрирует умения	Отлично демонстрирует умения	Выполнение ПЗ и ЛБ
Владеть навыками: компьютерного моделирования нелинейных систем управления на основе современного программного обеспечения, в частности в среде MATLAB/SIMULINK	Не демонстрирует навыки	Неуверенно демонстрирует навыки	Достаточно уверенно демонстрирует навыки	Отлично демонстрирует самостоятельные навыки	Выполнение ПЗ и ЛБ
ПКС-4 ИПКС-4.2					
Знать: Понятия абсолютной и орбитальной устойчивости нелинейных систем Методы анализа абсолютной устойчивости Методы синтеза управления на основе оптимальной функции Ляпунова и на основе линеаризации обратной связью	Отсутствие усвоения знаний	Недостаточно уверенно понимает и может объяснять полученные знания	На достаточно высоком уровне понимает и может объяснять полученные знания	Отлично понимает и может объяснять полученные знания, демонстрирует самостоятельную познавательную деятельность	Участие в обсуждении дискуссионных материалов на лекциях Промежуточная аттестация
Уметь: Выполнять расчет автоколебаний нелинейной системы и анализировать орбитальную устойчивость соответствующего предельного цикла, Проводить анализ абсолютной устойчивости. Синтезировать законы управления	Не демонстрирует умения	Неуверенно демонстрирует умения	Достаточно уверенно демонстрирует умения	Отлично демонстрирует умения	Выполнение ПЗ и ЛБ
Владеть навыками: применения современного программного обеспечения для расчета и проектирования систем управления, в частности программным приложением «ControlSystemToolbox» пакета MATLAB	Не демонстрирует навыки	Неуверенно демонстрирует навыки	Достаточно уверенно демонстрирует навыки	Отлично демонстрирует самостоятельные навыки	Выполнение ПЗ и ЛБ

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Основная литература

6.1.1 Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / Ким Д. П. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 440 с. - ISBN 978-5-9221-0858-4. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922108584.html> - Режим доступа: по подписке.

6.1.2 Ким, Д. П. Сборник задач по теории автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / Ким Д. П. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 328 с. - ISBN 978-5-9221-0937-6. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922109376.html> - Режим доступа: по подписке.

6.2 Дополнительная литература

6.2.1 Поляк Б.Т., Хлебников М.В. Рапопорт Л.Б. Математическая теория автоматического управления: учебное пособие. – М.: ЛЕНАНД, 2019. – 500 с.

6.3 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

6.3.1 Методические указания для лабораторных работ по дисциплине «Теория управления». Рекомендованы решением кафедры прикладной математики АПИ НГТУ, протокол № 4 от 29.04.2021 г.

7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля), включая электронные библиотечные и информационно-справочные системы

7.1.1 Электронно-библиотечная система издательства «IPRbooks». [сайт].-URL: www.iprbookshop.ru/ - Режим доступа: по подписке.

7.1.2 Электронно-библиотечная система издательства «Лань». Режим доступа: <https://e.lanbook.com>

7.1.3 Электронно-библиотечная система «Консультант студента»: [сайт].-URL: <https://www.studentlibrary.ru/> - Режим доступа: по подписке.

7.2 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства необходимого для освоения дисциплины

7.2.1 Microsoft Office

7.2.2 MatLab

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 8.1 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования.

Таблица 8.1 – Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
ЭБС «IPRbooks»	Специальное мобильное приложение IPR BOOKS WV-Reader
ЭБС «Лань»	Синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Учебные аудитории для проведения занятий по дисциплине, оснащены оборудованием и техническими средствами обучения.

В таблице 9.1 перечислены:

- учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения;
- помещения для самостоятельной работы студентов, которые оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду АПИ НГТУ.

Таблица 9.1 – Оснащенность аудиторий и помещений для проведения занятий и самостоятельной работы студентов по дисциплине

Наименование аудиторий и помещений для проведения занятий и самостоятельной работы	Оснащенность аудиторий и помещений для проведения занятий и самостоятельной работы
313 – Лаборатория научно-образовательного центра АПИ НГТУ и ИПУ РАН г. Арзамас, ул. Калинина, дом 19	Рабочих мест студента – 19 шт. Ноутбук 17.3" SUS R75VJ – 3 шт. Контактн. Плата – 1 шт. Мультиметр - 1 шт. ОР-140Д ЦАП – 1 шт. Е140 внешний модуль – 1 шт. Лабораторная коробка испытательная сигнальная BNC-2120 – 1 шт. Многоф. уч. плат., /лаборатория/ NI ELVIS – 1 шт. Многоф. уч. плат., /практикум/ NI ELVIS – 1 шт. Отладочный комплект MC-24 EM – 1 шт. Система управл, с вращ, гибк, штанг – 1 шт. Устройство REALL LAB – 1 шт.
320 – Учебная мультимедийная аудитория г. Арзамас, ул. Калинина, дом 19	Рабочих мест студента – 14 шт. Компьютеры PC Intel® Core™ i3-10100/256SSD/8RAM - 14 шт.
316 - Кабинет самоподготовки студентов г. Арзамас, ул. Калинина, дом 19	рабочих мест студента – 26 шт; ПК, с выходом на телевизор LG - 1 шт. ПК с подключением к интернету - 5шт.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

10.1 Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа проводится в аудиторной и внеаудиторной форме, а также в электронной информационно-образовательной среде института (далее – ЭИОС). В случае проведения части контактной работы по дисциплине в ЭИОС (в соответствии с расписанием учебных занятий), трудоемкость контактной работа в ЭИОС эквивалентна аудиторной работе.

При преподавании дисциплины используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Весь лекционный материал курса, а также материалы для практических занятий находятся в свободном доступе в СДО MOODLE на странице курса по адресу: <https://sdo.api.nntu.ru/course> и могут быть проработаны студентами до чтения лекций в ходе самостоятельной работы. Это дает возможность обсудить материал со студентами во время чтения лекций, активировать их деятельность при освоении материала.

На лекциях и практических занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, дискуссионные технологии, технологии работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на практических занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч со студентами, так и современных информационных технологий, таких как форум, чат, внутренняя электронная почта СДО MOODLE.

Иницируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента.

Для оценки знаний, умений и уровня сформированности компетенции в процессе текущего контроля применяется система контроля и оценки успеваемости студентов, представленная в табл. 5.1. Промежуточная аттестация проводится в форме зачета с использованием системы контроля и оценки успеваемости студентов, представленной в табл. 5.2.

10.2 Методические указания для занятий лекционного типа

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины. Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложных и важных положениях изучаемого материала. Материалы лекций являются основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах

Подготовку к каждой лабораторной работе студент должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Каждая выполненная работа с оформленным отчетом и подлежит защите у преподавателя.

При оценивании лабораторных работ учитывается следующее:

- качество выполнения экспериментально-практической части работы и степень соответствия результатов работы заданным требованиям;
- качество оформления отчета по работе;
- качество устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

10.4 Методические указания по освоению дисциплины на занятиях семинарского типа

Практические (семинарские) занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы. Основной формой проведения практических занятий является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также решение задач и разбор примеров в аудиторных условиях.

Практические (семинарские) занятия обеспечивают:

- проверку и уточнение знаний, полученных на лекциях;
- развитие умений и навыков дискуссионного обсуждения вопросов по учебному материалу дисциплины, выработки собственной позиции по актуальным вопросам (проблемам);
- подведение итогов занятий (результаты тестирования, готовность отчетов по практическим занятиям, готовность домашних заданий, выполненных в ходе самостоятельной работы).

Приводятся конкретные методические указания для обучающихся по подготовке доклада, выполнению реферата или эссе, требования к их оформлению, порядок сдачи.

10.5 Методические указания по самостоятельной работе обучающихся

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

В процессе самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение основной учебной и справочно-библиографической литературы, представленной в разделе 6.

Для выполнения самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут использовать специализированные аудитории (см. табл. 9.1), оборудование которых обеспечивает доступ через «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде института и электронной библиотечной системе, где располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы.

10.6 Методические указания по обеспечению образовательного процесса

1. Методические рекомендации по организации аудиторной работы. Приняты Учебно-методическим советом НГТУ им. Р.Е. Алексеева, протокол № 2 от 22 апреля 2013 г. Электронный

адрес: https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/upravleniya/umu/docs/metod_docs_ngtu/metod_rekom_auditorii.PDF.

2. Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы студентов по дисциплине. Приняты Учебно-методическим советом НГТУ им. Р.Е. Алексеева, протокол № 2 от 22 апреля 2013 г. Электронный адрес: https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/upravleniya/umu/docs/metod_docs_ngtu/metod_rekom_students.PDF.

3. Учебное пособие [«Проведение занятий с применением интерактивных форм и методов обучения»](#), Ермакова Т.И., Ивашкин Е.Г., 2013 г. Электронный адрес: https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/upravleniya/umu/docs/metod_docs_ngtu/provedenie-zanyatij-s-primeneniem-interakt.pdf.

4. Учебное пособие [«Организация аудиторной работы в образовательных организациях высшего образования»](#), Ивашкин Е.Г., Жукова Л.П., 2014 г. Электронный адрес: https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/upravleniya/umu/docs/metod_docs_ngtu/organizaciya-auditornoj-raboty.pdf.

**Дополнения и изменения в рабочей программе дисциплины
на 20____/20____ уч. г.**

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института:

_____ Глебов В.В.
« ____ » _____ 20 ____ г.

В рабочую программу вносятся следующие изменения:

1)

2)

или делается отметка о нецелесообразности внесения каких-либо изменений на данный учебный год

Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры, протокол от _____ № _____
Заведующий кафедрой _____
(подпись) (ФИО)

Утверждено УМК АПИ НГТУ, протокол от _____ № _____

Зам. директора по УР _____ Шурыгин А.Ю.
(подпись)

Согласовано:

Начальник УО _____ Мельникова О.Ю.
(подпись)

(в случае, если изменения касаются литературы):

Заведующая отделом библиотеки _____ Старостина О.Н.
(подпись)