

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В. Г. ШУХОВА»
(БГТУ им. В. Г. Шухова)



[Signature]
« 30 » мая 20 23 г.
И. В. Космачева



[Signature]
« 30 » мая 20 23 г.
А. В. Белоусов

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины (модуля)

Адаптивные системы управления

Направление подготовки (специальность):

27.04.04 Управление в технических системах

Направленность программы (профиль, специализация):

Управление и информатика в технических системах

Квалификация:

магистр

Форма обучения

очная

Институт Магистратуры

Кафедра Технической кибернетики

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования 27.04.04 Управление в технических системах (уровень магистратуры), утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 942 от 11 августа 2020 г.
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В. Г. Шухова в 2023 году.

Составитель (составители):

канд. техн. наук

(ученая степень и звание)


(подпись)

Д. А. Бушуев

(инициалы, фамилия)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры
«12» мая 2023 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой:

канд. техн. наук, доц.

(ученая степень и звание)


(подпись)

Д. А. Бушуев

(инициалы, фамилия)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института
«29» мая 2023 г., протокол № 9

Председатель:

канд. техн. наук, доц.

(ученая степень и звание)


(подпись)

А. Н. Семернин

(инициалы, фамилия)

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
Профессиональные компетенции по типам задач профессиональной деятельности	ПК-3. Способен разрабатывать математические модели и проводить компьютерное моделирование сложных объектов управления и систем автоматического управления с применением современных средств и методов	ПК-3.4. Разрабатывает математические модели и проводит компьютерное моделирование адаптивных и оптимальных систем управления	<p>Знать: основные принципы и методы теории автоматических систем адаптивного управления, современные средства и методы компьютерного моделирования систем управления</p> <p>Уметь: разрабатывать математические модели и проводить компьютерное моделирование адаптивных систем управления, использовать методы адаптивного управления при разработке регуляторов, позволяющих осуществить управление с заданным качеством в технических системах, функционирующих в условиях неполной информации о текущем состоянии объекта и воздействиях внешней среды</p> <p>Владеть: приемами применения алгоритмического и программного обеспечения программно-технических комплексов, позволяющими управлять сложными динамическими процессами с адаптацией.</p>

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1. Компетенция ПК-3. Способен разрабатывать математические модели и проводить компьютерное моделирование сложных объектов управления и систем автоматического управления с применением современных средств и методов

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1	Адаптивные системы управления
2	Теория матриц
3	Хаотическая динамика импульсных систем
4	Производственная преддипломная практика

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зач. единиц, 180 часов.

Форма промежуточной аттестации _____ экзамен _____.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 2
Общая трудоемкость дисциплины, час	180	180
Контактная работа (аудиторные занятия), в том числе:	72	72
лекции	17	17
лабораторные	17	17
практические	34	34
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	4	4
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:	108	108
курсовой проект	-	-
курсовая работа	-	-
расчетно-графическое задание	-	-
индивидуальное домашнее задание	-	-
самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	72	72
экзамен	36	36

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Наименование тем, их содержание и объем

Курс 1 Семестр 2

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1. Логические основы проблемы адаптивного управления					
1	Общие понятия об адаптивном управлении. Классификация. Особенности задач управления в сложных динамических системах. Гипотеза о квазистационарности. Математические модели объектов управления, примеры технических объектов. Примеры задач адаптивного управления в БАС.	2	2		18
2. Поисковые самонастраивающиеся системы. Системы экстремального регулирования (СЭР)					
2	Принцип действия и организации поисковых систем. Классификация СЭР.	2			4
3	СЭР с организацией поиска по методу градиента. Способы оценки градиента. Организация движения к экстремуму. Одноканальные и многоканальные экстремальные системы. Глобальный поиск.	2	4		12
4	СЭР с запоминанием экстремума. Исследование динамики с помощью точных методов. Исследование динамики приближенными методами. Метод Гольдфарба. Устойчивость периодического решения. Работоспособность адаптивных систем при дрейфе характеристики объекта.	2	8	5	24
5	СЭР с вспомогательной модуляцией. Разновидности. Динамика и синтез систем. Анализ работы. Примеры	2	6	4	16
6	Дискретные СЭР. СЭР шагового типа. Динамика. Методы исследования.	2	4		8
3. Беспойсковый принцип адаптации					
7	Принципы построения. Принцип инвариантности. Принцип идентификации. Системы с эталонной моделью. Комбинированные системы управления.	2	6	4	14
4. Интеллектуальные адаптивные системы					
8	Адаптивные системы управления, использующие обучение с подкреплением. Адаптация к внешним воздействиям. Представления и трансформации данных в системах реального времени. Понятие онлайн обучения. Примеры применения интеллектуальных адаптивных систем для беспилотных транспортных средств	3	4	4	12
ИТОГО:		17	34	17	108

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	№ раздела дисциплины (в соответствии с п.4.1)	Тема лабораторного занятия	Колич. часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
<i>семестр №2</i>				
1.	1	Разработка математических моделей объектов управления адаптивных систем	2	2
2.	3	Рассмотрение вопросов разработки и анализа СЭР с организацией поиска по методу градиента	4	4
3.	4	Рассмотрение вопросов разработки и анализа СЭР с запоминанием экстремума	8	8
4.	5	Рассмотрение вопросов разработки и анализа с вспомогательной модуляцией	6	6
5.	6	Рассмотрение вопросов разработки и анализа дискретных СЭР	4	4
6.	7	Рассмотрение вопросов разработки и анализа беспоисковых адаптивных систем	6	6
7.	8	Разработка интеллектуальных адаптивных систем с использованием метода онлайн обучения	4	4
ИТОГО:			34	34

4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	№ раздела дисциплины (в соответствии с п.4.1)	Тема лабораторного занятия	Колич. часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
<i>семестр №2</i>				
1.	4	Исследование экстремальной системы управления с запоминанием экстремума	5	5
2.	5	Исследование экстремальной системы управления со вспомогательной модуляцией	4	4
3.	7	Исследование комбинированной экстремальной системы управления	4	4
4.	8	Исследование интеллектуальных адаптивных систем	4	4
ИТОГО:			17	17

4.4. Содержание курсовой работы

Не предусмотрено учебным планом.

4.5. Содержание расчетно-графического задания, индивидуальных домашних заданий

Не предусмотрено учебным планом.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Реализация компетенций

1. Компетенция ПК-3. Способен разрабатывать математические модели и проводить компьютерное моделирование сложных объектов управления и систем автоматического управления с применением современных средств и методов

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПК-3.4. Разрабатывает математические модели и проводит компьютерное моделирование адаптивных и оптимальных систем управления	Защита лабораторных работ, экзамен

5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

5.2.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для экзамена

	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Логические основы проблемы адаптивного управления	<ol style="list-style-type: none">1. Общие понятия об адаптивном управлении. Классификация.2. Особенности задач управления в сложных динамических системах. Гипотеза о квазистационарности.3. Математические модели объектов управления, примеры технических объектов.4. Примеры применения адаптации в БАС
2	Поисковые самонастраивающиеся системы. Системы экстремального регулирования (СЭР)	<ol style="list-style-type: none">5. СЭР с организацией поиска по методу градиента. Способы оценки градиента.6. Организация движения к экстремуму в градиентных СЭР.7. Одноканальные и многоканальные экстремальные системы.8. Глобальные поисковые системы.9. СЭР с запоминанием экстремума. Примеры. Работоспособность при дрейфе характеристики объекта.10. Исследование динамики СЭР с запоминанием экстремума с помощью точных методов.11. Исследование динамики СЭР приближенными методами. Метод Гольдфарба. Устойчивость периодического решения.12. СЭР с вспомогательной модуляцией. Разновидности. Примеры13. Оценка динамика систем со вспомогательной модуляцией.14. Синтез СЭР со вспомогательной модуляцией15. Дискретные СЭР. СЭР шагового типа. Примеры16. Динамика шаговых СЭР.

	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
3	Беспоисковый принцип адаптации	17. Принципы построения беспоисковых адаптивных систем. 18. Принцип инвариантности. 19. Принцип идентификации. 20. Беспоисковые адаптивные системы с эталонной моделью
4	Интеллектуальные адаптивные системы	21. Адаптивные системы управления, использующие обучение с подкреплением. Адаптация к внешним воздействиям. 22. Представления и трансформации данных в системах реального времени. 23. Понятие онлайн обучения. 24. Примеры применения интеллектуальных адаптивных систем для беспилотных транспортных средств

5.2.2. Перечень контрольных материалов для защиты курсовой работы

Не предусмотрено учебным планом.

5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре

Текущий контроль осуществляется в течение 2 семестра в форме собеседования во время проведения практических занятий, защиты лабораторных работ, выполнения и защиты ИДЗ.

Защита лабораторных работ возможна после проверки правильности выполнения задания, оформления отчета. Защита проводится в форме собеседования преподавателя со студентом по теме работы. Примерный перечень контрольных вопросов для защиты практических работ представлен в таблице.

№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
1	Исследование экстремальной системы управления с запоминанием экстремума	1. Как производятся вычислительные эксперименты с целью получения математических моделей процессов и объектов с неполной определенностью? 2. Что такое модель Винера? 3. Что такое модель Гаммерштейна? 4. Как можно идентифицировать модели нелинейных объектов управления? 5. Как производится исследование динамики СЭР с запоминанием экстремума при помощи точных методов? 6. Как производится исследование динамики СЭР с запоминанием экстремума приближенными методами. 7. Метод Гольдфарба. Устойчивость периодического решения. 8. Как можно оценить работоспособность адаптивных систем при дрейфе характеристики объекта? 9. Как осуществляется моделирование экстремальных систем управления? 10. Как выглядят переходные процессы в экстремальных системах с запоминанием экстремума?

2	Исследование экстремальной системы управления с вспомогательной модуляцией	<ol style="list-style-type: none"> 1. Как производится исследование динамики СЭР с вспомогательной модуляцией? 2. Как можно оценить работоспособность адаптивных систем при дрейфе характеристики объекта? 3. Как осуществляется моделирование экстремальных систем управления с вспомогательной модуляцией? 4. Как выглядят переходные процессы в экстремальных системах управления с вспомогательной модуляцией?
3	Исследование комбинированной экстремальной системы управления	<ol style="list-style-type: none"> 1. Как производится исследование динамики комбинированных экстремальных систем? 2. Как можно оценить работоспособность адаптивных систем при дрейфе характеристики объекта? 3. Как осуществляется моделирование комбинированных экстремальных систем управления? 4. Как выглядят переходные процессы в исследуемой комбинированной системе управления?
4	Интеллектуальные адаптивные системы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Как реализуется обучение с подкреплением? 2. Что такое аугментация данных? 3. Какие операции с данными нужно выполнить для использования при адаптации в реальном времени? 4. Какие структуры нейронных сетей реализуются для обеспечения онлайн-обучения? 5. Как осуществляется моделирование систем онлайн-обучения?

Примеры типовых вопросов и задач для практических занятий

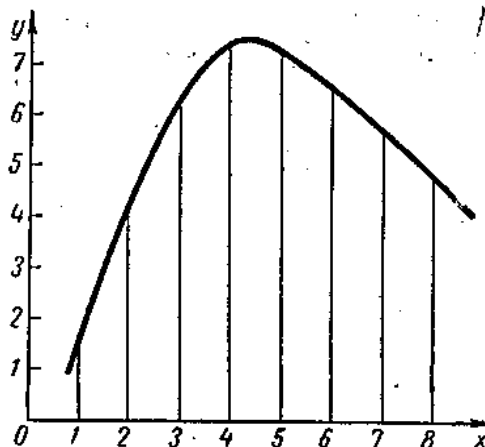
1. Определить экстремальную характеристику последовательного колебательного контура $i = f(\omega)$ при следующих его параметрах: $r = 4$ ом, $L = 1,0$ Гн, $C = 10$ мф.

2. Определить интерполирующую функцию второго порядка для части экстремальной характеристики объекта, заданной в виде табл. 1.

Таблица 1

x	1	3	5	6
$y=f(x)$	2	4	8	11

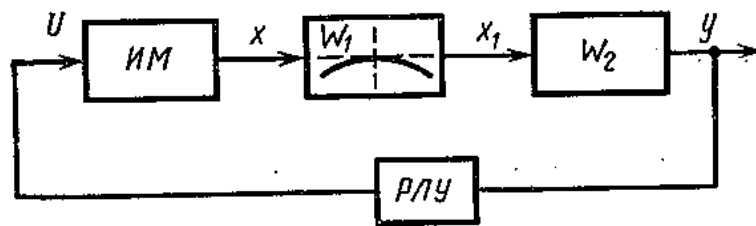
3. Определить интерполирующую функцию второго порядка для заданной экстремальной характеристики объекта.



4. Определить качественные показатели непрерывной экстремальной системы: скорость изменения входной величины v , потери на поиск P , время выхода в экстремальную область τ . Объект управления безынерционный, а его

статическая характеристика описывается уравнением $y = -kx^2$. Зона поиска на выходе $\Delta y = 4\%$; период автоколебаний $T = 1$ сек начальное рассогласование $A = 3$ ед.; $k=1$.

5. Экстремальный объект управления состоит из двух звеньев



Уравнение первого звена

$$x_1 = -kx^2,$$

где $k=1$

Уравнение второго звена

$$T \frac{dy}{dt} + y = x_1,$$

где $T = 1$ сек.

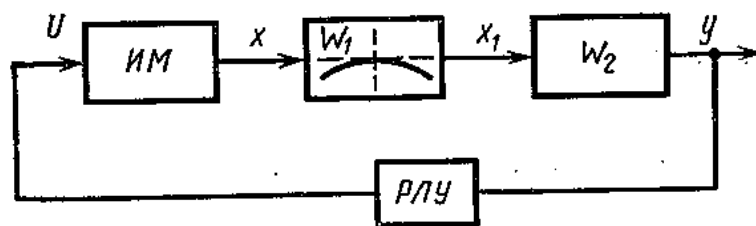
Уравнение исполнительного механизма

$$\frac{dx}{dt} = \pm v,$$

где $v=1$ ед/сек.

В начальном состоянии объекта (при $t=0$) $x_0 = -2 \gg y_0 = -4$. Зона нечувствительности прибора, измеряющего отклонение от экстремума, $\Delta y = 0,2$ ед. Определить фазовую траекторию экстремальной системы и параметры предельного цикла, предполагая, что она работает по принципу запоминания экстремума.

6. Рассчитать и построить переходный процесс для экстремальной системы, т. е. движение выходной координаты во времени, работающей по принципу запоминания экстремума. Экстремальный объект управления состоит из двух звеньев



Уравнение первого звена

$$x_1 = -kx^2,$$

где $k=1$

Уравнение второго звена

$$T \frac{dy}{dt} + y = x_1,$$

где $T = 1$ сек.

Уравнение исполнительного механизма

$$\frac{dx}{dt} = \pm v,$$

где $v=1$ ед/сек.

В начальном состоянии объекта (при $t=0$) $x_0 = -2 \gg y_0 = -4$. Зона нечувствительности прибора, измеряющего отклонение от экстремума, $\Delta y = 0,2$ ед.

7. Экстремальный объект управления описывается следующими уравнени-

ями

$$T \frac{dy}{dt} + x = k_2 x_1,$$

где $T = 2$ сек, $k_2 = 1$;

$$\varphi = -k_1 U,$$

где $k_1 = 0,1$ сек⁻¹.

Зона нечувствительности релейного элемента $\Delta = 0,1$. Начальное отклонение $x_0 = 2$, $y_0 = 0$. Принцип работы – шаговый. Закон формирования управляющего сигнала

$$U_n = \text{sign}(\varphi_n - \varphi_{n-1} + \Delta) U_{n-1}.$$

Определить параметры предельного цикла и процесс выхода в экстремальную область.

8. Экстремальный объект управления состоит из двух одинаковых инерционных звеньев, имеющих передаточную функцию

$$W(s) = \frac{y_1(s)}{y(s)} = \frac{k_1}{(Ts + 1)^2},$$

где $T = 90$ сек; $k_1 = 0,74$.

Перед апериодическими звеньями включено нелинейное звено с экстремальной характеристикой

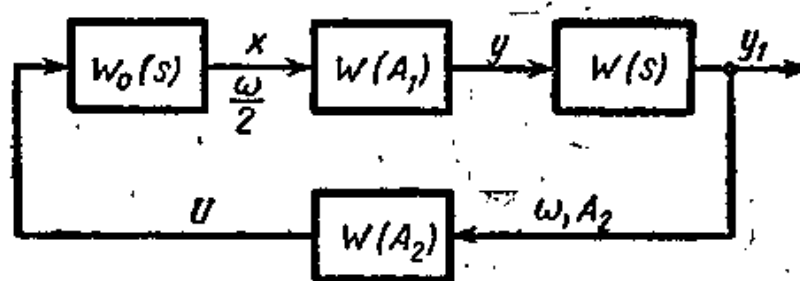
$$y = -kx^2,$$

где $k = 0,46$.

Характеристика реле имеет зону нечувствительности $\Delta = 0,5$ ед. Исполнительный механизм — интегрирующий

$$\frac{dx}{dt} = k_3 U,$$

где $k_3 = 0,01$ сек⁻¹; $U = 10$ ед.



Блок-схема системы показана на рисунке. Определить методом амплитудно-фазовых характеристик параметры предельного цикла P , A_2 , T .

9. Экстремальный объект управления состоит из двух одинаковых инерционных звеньев, имеющих передаточную функцию

$$W(s) = \frac{y_1(s)}{y(s)} = \frac{k_1}{(Ts + 1)^2},$$

где $T = 90$ сек; $k_1 = 0,74$.

Перед апериодическими звеньями включено нелинейное звено с экстремальной характеристикой

$$y = -kx^2,$$

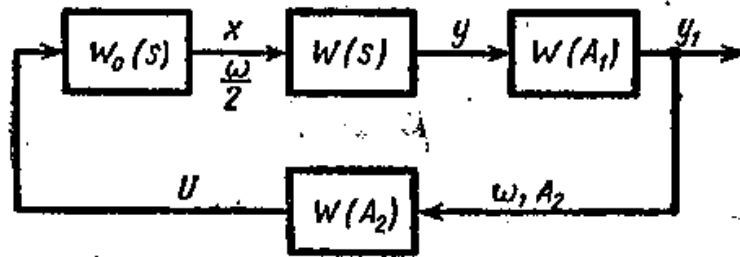
где $k = 0,46$.

Характеристика реле имеет зону нечувствительности $\Delta = 0,5$ ед. Исполнительный механизм — интегрирующий

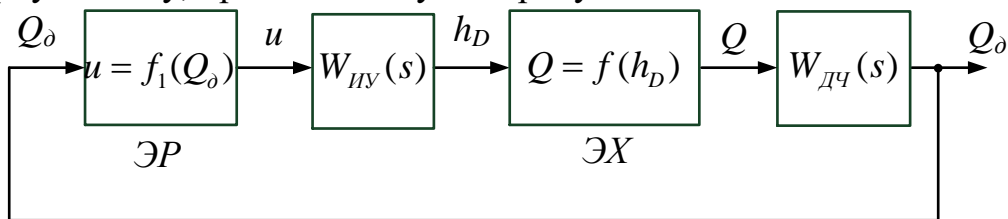
$$\frac{dx}{dt} = k_3 U,$$

где $k_3 = 0,01 \text{ сек}^{-1}$; $U = 10 \text{ ед.}$

Блок-схема экстремальной системы показана на рисунке. Методом эквивалентных логарифмических характеристик определить параметры предельного цикла P, A_2, T .



10. Система экстремального регулирования с запоминанием экстремума для указанного объекта управления без учета дрейфа характеристик, имеет структурную схему, представленную на рисунке

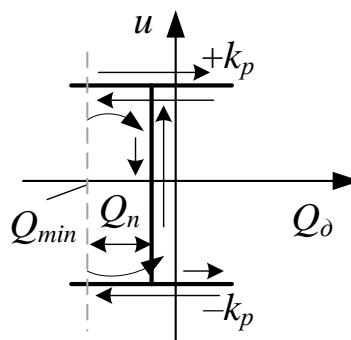


где $W_{ИУ}(s) = \frac{k_{ИУ}}{s(T_{ИУ}s + 1)}$ – передаточная функция исполнительного устройства;

$W_{ДЧ}(s) = \frac{e^{-\tau s}}{Ts + 1}$ – передаточная функция динамической части объекта управления;

$Q = f(h_D) = k_1 h_D^2$ – нелинейная статическая характеристика объекта управления;

$u = f_1(Q_0)$ – нелинейная статическая характеристика сигнум-реле экстремального регулятора представленного на рисунке



Выполните анализ системы экстремального регулирования с запоминанием экстремума с целью определения параметров колебательных движений методом Гольдфарба.

11. Для статической характеристики в задаче 3 смоделируйте систему с параметрическим дрейфом

12. Опишите процесс реализации комбинированной экстремальной системы с обучением модели

13. Нарисуйте функциональную схему адаптивной системы управления автопилотом

14. Нарисуйте функциональную схему адаптивной системы управления поиска источника с максимальным излучением при помощи БАС

15. Нарисуйте функциональную схему адаптивной системы управления поиска источника с максимальным излучением при помощи БАС

16. Нарисуйте функциональную схему интеллектуальной адаптивной системы управления беспилотным транспортным средством движущегося по заданному маршруту.

5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме экзамена, дифференцированного зачета, дифференцированного зачета при защите курсового проекта/работы используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
Знания	Знание терминов, классификаций, современных методов машинного обучения, основных принципов в области машинного обучения
	Объем освоенного материала
	Полнота ответов на вопросы
	Четкость изложения и интерпретации знаний
Умения	Умение разрабатывать математические модели и проводить компьютерное моделирование адаптивных систем управления,
	Умение использовать методы адаптивного управления при разработке регуляторов, позволяющих осуществить управление с заданным качеством в технических системах, функционирующих в условиях неполной информации о текущем состоянии объекта и воздействиях внешней среды
Навыки	Владеть: приемами применения алгоритмического и программного обеспечения программно-технических комплексов, позволяющими управлять сложными динамическими процессами с адаптацией.

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

Оценка сформированности компетенций по показателю Знания.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание терминов, классификаций, современных методов машинного обучения, основных	Не знает терминов, классификаций, современных методов машинного обучения, основных принципов в области машинного	Знает термины, классификации, современные методы машинного обучения, но допускает неточности формулировок	Знает термины, классификации, современные методы машинного обучения, основных принципов в области машинного	Знает термины, классификации, современные методы машинного обучения, основных принципов в области машинного

принципов в области машинного обучения	обучения		обучения	обучения, может корректно сформулировать их самостоятельно
Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Знает только основной материал дисциплины, не усвоил его деталей	Знает материал дисциплины в достаточном объеме	Обладает твердым и полным знанием материала дисциплины, владеет дополнительными знаниями
Полнота ответов на вопросы	Не дает ответы на большинство вопросов	Дает неполные ответы на все вопросы	Дает ответы на вопросы, но не все – полные	Дает полные, развернутые ответы на поставленные вопросы
Четкость изложения и интерпретации знаний	Излагает знания без логической последовательности	Излагает знания с нарушениями в логической последовательности	Излагает знания без нарушений в логической последовательности	Излагает знания в логической последовательности, самостоятельно их интерпретируя и анализируя
	Не иллюстрирует изложение поясняющими схемами, рисунками и примерами	Выполняет поясняющие схемы и рисунки небрежно и с ошибками	Выполняет поясняющие рисунки и схемы корректно и понятно	Выполняет поясняющие рисунки и схемы точно и аккуратно, раскрывая полноту усвоенных знаний
	Неверно излагает и интерпретирует знания	Допускает неточности в изложении и интерпретации знаний	Грамотно и по существу излагает знания	Грамотно и точно излагает знания, делает самостоятельные выводы

Оценка сформированности компетенций по показателю Умения.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Умение разрабатывать математические модели и проводить компьютерное моделирование адаптивных систем управления	Не умеет разрабатывать математические модели и проводить компьютерное моделирование адаптивных систем управления	Умеет разрабатывать только отдельные математические модели и проводить компьютерное моделирование адаптивных систем управления машинного обучения	Умеет разрабатывать математические модели и проводить компьютерное моделирование простых адаптивных систем управления	Умеет разрабатывать математические модели и проводить компьютерное моделирование простых адаптивных систем управления
Умение использовать методы адаптивного управления при разработке регуляторов,	Не умеет использовать методы адаптивного управления при разработке регуляторов, позволяющих	Умеет применять на практике отдельные методы адаптивного управления при разработке регуляторов,	Умеет применять на практике отдельные методы адаптивного управления при разработке регуляторов и	Умеет применять на практике методы адаптивного управления при разработке регуляторов, позволяющих

позволяющих осуществить управление с заданным качеством в технических системах, функционирующих в условиях неполной информации о текущем состоянии объекта и воздействиях внешней среды	осуществить управление с заданным качеством в технических системах, функционирующих в условиях неполной информации о текущем состоянии объекта и воздействиях внешней среды	позволяющих осуществить управление с заданным качеством в технических системах, функционирующих в условиях неполной информации о текущем состоянии объекта и воздействиях внешней среды	проводить анализ их работы с целью улучшения показателей первоначально полученных показателей качества	осуществить управление с заданным качеством в технических системах, функционирующих в условиях неполной информации о текущем состоянии объекта и воздействиях внешней среды
---	---	---	--	---

Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Владеть приемами применения алгоритмического и программного обеспечения программно-технических комплексов, позволяющими управлять сложными динамическими процессами с адаптацией.	Не владеет приемами применения алгоритмического и программного обеспечения программно-технических комплексов, позволяющими управлять сложными динамическими процессами с адаптацией	Имеет слабые навыки применения алгоритмического и программного обеспечения программно-технических комплексов, позволяющими управлять сложными динамическими процессами с адаптацией	Владеет базовыми навыками применения алгоритмического и программного обеспечения программно-технических комплексов, позволяющими управлять сложными динамическими процессами с адаптацией	Владеет охватываемыми учебной программой приемами применения алгоритмического и программного обеспечения программно-технических комплексов, позволяющими управлять сложными динамическими процессами с адаптацией

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Специализированный компьютерный класс МК229	Мультимедийный проектор, экран, ноутбук; 15 персональных компьютеров с выходом в интернет, проектор, 10 комплектов оборудования для моделирования систем NI Elvis II и Matlab
2	Лаборатория теории автоматического управления и моделирования, УК№4, №231	Специализированная мебель, мультимедийный проектор, переносной экран, ноутбук, 6 персональных компьютеров с доступом в сеть Интернет, аналоговые вычислительные комплексы АВК-6, АВК-16, АВК-32, 5 стендов для изучения

		программируемых логических контроллеров ОВЕН серии Мх110, стенд для изучения промышленных датчиков и САР уровня, стенд для исследования движения робокара, стенд для изучения программирования человеко-машинного интерфейса; стенд для изучения устройств переработки информации Овен
3	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет» и имеющая доступ в электронно-информационную образовательную среду; специализированная мебель
4	Методический кабинет	Специализированная мебель; мультимедийный проектор, переносной экран, ноутбук

6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения	Реквизиты подтверждающего документа
1	Перечень лицензионного программного обеспечения	Реквизиты подтверждающего документа
2	Операционная система ASTRA LINUX Вариант лицензирования «Орел» 1.7	Контракт №144-22 от 27.10.2022 лицензия №223100026-alse-1.7-client-base_orel-x86_64-0-11874 от 07.11.2022 Лицензия бессрочная
3	Офисный пакет Мой офис Профессиональный 2.	Договор №143-22 от 31.10.2022 Лицензия бессрочная
4	Kaspersky Endpoint Security «Расширенный Russian Edition»	Контракт № 03261000041230000160001 «Поставка продления права пользования (лицензии) Kaspersky Endpoint Security от 21.08.2023. Срок действия лицензии 26.08.2025.
5	Yandex browser	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
6	MSC Easy5, Patran, Nastran, Adams	Соглашение RE008959BST-1 от 26.11.2018
7	Master SCADA 4D	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
8	MasterSCADA v. 3.4	16410414_3193 (1 компьютер, HASP-ключ) бессрочная)
9	Интерпретатор языка python с установленными библиотеками matplotlib, mglearn, Jupyter Notebook, pandas, SciPy, NumPy, scikit-learn, TensorFlow.	свободно распространяемое программное обеспечение
10	Google Collab	свободно распространяемое программное обеспечение

6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

1. Соломенцев Ю. М. Теория автоматического управления / ред. Ю. М. Соломенцев. - Москва : Высшая школа, 2003. - 268 с. - (Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств).
2. Пупков К. А., Егупов Н. Д. Методы классической и современной теории

- автоматического управления Методы классической и современной теории автоматического управления : в 5 т. : учебник / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана.
3. Никифоров, В. О. Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений / В. О. Никифоров. - Санкт-Петербург : Наука, 2003. - 281 с.
 4. Магергут В. З., Соболев А. В., Егоров А. Ф., Вент Д. П. Синтез и анализ адаптивных позиционных систем автоматического управления Синтез и анализ адаптивных позиционных систем автоматического управления : [монография] / В. З. Магергут. А. В. Соболев, А. Ф. Егоров, Д. П. Вент. - Новомосковск : Издательство Новомосковский институт РХТУ, 2006. - 244 с.
 5. Цыкунов, А. М. Адаптивное и робастное управление динамическими объектами по выходу / А. М. Цыкунов. - Москва : Физматлит, 2009. - 267 с.
 6. Теория адаптивного управления [Электронный ресурс]: методические указания и задания на курсовую работу/ — Электрон. текстовые данные.— Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2015.— 28 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/58542>.— ЭБС «IPRbooks»
 7. Гибридные адаптивные интеллектуальные системы. Часть 1. Теория и технология разработки [Электронный ресурс]: монография/ П.М. Клячек [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2011.— 375 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23834>.— ЭБС «IPRbooks»
 8. Ощепков, А.Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2013. — 208 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/68463> — Загл. с экрана.
 9. Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2007. — 440 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/59483> — Загл. с экрана.
 10. Рубанов В.Г. Методы автоматической балансировки агрегатов с эксплуатационным дисбалансом / В.Г. Рубанов, Д.А. Бушуев. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 150 с. ISBN 978-5-361-00544-4
 11. Теория проектирования бортовых систем управления мобильными роботами, обладающих свойством живучести: монография / В. Г. Рубанов, И. А. Рыбин, А. Г. Бажанов [и др.]. — Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 211 с. — ISBN 978-5-4497-1468-8. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://ipr-smart.ru/117048.html>

6.2. Перечень дополнительной литературы

1. Ощепков А. Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB: учеб. пособие / А. Ю. Ощепков. - 2-е изд., испр. и доп. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2013. - 208 с.
2. Ng, G. W. Application of Neural Networks to Adaptive Control of Nonlinear Systems / G. W. Ng ; Control Systems Centre, UMIST, UK. - New York : John Wiley & Sons, Ins., 1997. - 198 с.
3. Яковлев В. Б. Теория автоматического управления: учебник / ред. В. Б. Яковлев. - 2-е, перераб. - Москва : Высшая школа, 2005. - 568 с.

4. Решетняк Е.П. Синтез дискретной адаптивной системы управления биохимическим реактором с оцениванием сигналов модального управления [Электронный ресурс]/ Решетняк Е.П.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Вузовское образование, 2012.— 13 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/8164>.— ЭБС «IPRbooks»
5. Решетняк Е.П. Адаптивная система модального управления биохимическим реактором [Электронный ресурс]/ Решетняк Е.П., Комиссаров А.В., Харина И.В.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Вузовское образование, 2009.— 13 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/8161>.— ЭБС «IPRbooks»
6. Ким Д. П. Теория автоматического управления: учебное пособие. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы — М.: Физматлит, 2004. — 464 с.
7. Chunlei, Z. Extremum-Seeking Control and Applications / Chunlei, Zhang, Raúl Ordóñez. // A Numerical Optimization-Based Approach. Springer-Verlag, London. 2012. — 203 P.
8. Казакевич, В.В. Системы автоматической оптимизации / В.В.Казакевич, А.Б.Родов. — М.: Энергия, 1977. — 288 с.
9. Либерзон, Л.М. Системы экстремального регулирования / Л.М.Либерзон, А.Б.Родов. — М.: Энергия, 1965. — 162 с.
10. Либерзон, Л.М. Шаговые экстремальные системы Текст. / Либерзон Л. М., Родов А. Б.; М.: «Энергия», 1969. — 99 с. 162 с.
11. Олейников, В.А. Основы оптимального и экстремального управления / В.А.Олейников, Н.С.Зотов, А.М.Пришвин. — М.: Высшая школа, 1969. — 296 с.
12. Растринин, Л.А. Системы экстремального регулирования /Л.А.Растринин. — М.: Наука, 1974. — 632 с.
13. Дрейпер, Ч. С. Автоматическая оптимизация управляемых систем / Ч.С. Дрейпер, И.Т. Ли; под ред. Б. Н. Петрова. — М.: Изд-во иностр. лит., 1960. — 240 с.
14. Кунцевич, В. М. Системы экстремального управления / В.М.Кунцевич, — Киев: ГТИ УССР, 1961. — 151с.
15. Кунцевич, В. М. Системы экстремального управления / В.М.Кунцевич, — Киев: ГТИ УССР, 1961. — 151с.
16. Рубанов В.Г. Моделирование экстремальных систем управления в среде MATLAB и SIMULINK как средство анализа динамики // Рубанов В.Г., Бушуев Д.А. // Научные ведомости Белгор. гос. ун-та. — 2012. — № 19 (138). — выпуск 24/1, с.169-175.
17. Рубанов В. Г. Теория нелинейных систем автоматического управления: учеб. пособие, /В. Г. Рубанов. — Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. — 225 с.
18. Системы автоматической оптимизации управления технологическими процессами с запоминанием экстремума [Текст]: учебное пособие / Б. Н. Парсункин, С. М. Андреев, Е. Н. Ишметьев. — Магнитогорск: Изд-во Магнито-

- горского гос. технического ун-та им. Г. И. Носова, 2015. – 136 с.
19. Тюкин, И. Ю. Адаптация в нелинейных динамических системах: / И. Ю. Тюкин, В. А. Терехов. – М.: Изд. ЛКИ, 2014. – 384 с.
 20. Уайлд, Д. Дж. Методы поиска экстремума / Д. Дж. Уайлд; пер. с англ. под ред. А.А. Фельдбаума. – М.: Наука, 1967. – 267 с.
 21. Французова Г. А. Синтез систем экстремального регулирования для нелинейных нестационарных объектов на основе принципа локализации: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.01 / Французова Галина Александровна. Новосибирск. Изд-во НГТУ, 2004. – 346 с.
 22. Ariyur, K.B. Real-Time Optimization by Extremum-Seeking Control / K.B. Ariyur, M. Krstic. // USA, John Wiley & Sons Inc., 2003. – P. 230.
 23. Ariyur K.B., Krstic M. Slope seeking and application to compressor instability control // Proc. 41th IEEE conf. Decision and Control. Las Vegas, Nevada, USA, 2002. P. 3690-3697.
 24. Ariyur K.B., Krstic M. Analysis and design of multivariable extremum seeking 11 Proc. of the 2002 American Control Conference. Anchorage, Alaska, USA, 2002. P. 2903-2908.

6.3. Перечень интернет ресурсов

1. Авторские руководства по продуктам MathWorks [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru>
2. Н. В. Клиначёв. Теория систем автоматического регулирования. Учебно-методический комплекс [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://model.exponenta.ru>

7. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа утверждена на 20_____ / 20_____ учебный год
без изменений.

Протокол № _____ заседания кафедры от «____» _____ 20____ г.

Заведующий кафедрой _____ Д. А. Бушуев
подпись ФИО

Директор института _____ И.В. Космачева
подпись ФИО