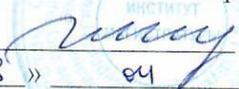


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В. Г. ШУХОВА»**
(БГТУ им. В. Г. Шухова)

СОГЛАСОВАНО
Директор института
магистратуры

И. В. Космачева
« 28 » 04 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор института ЭИТУС

А. В. Белоусов
« 28 » 04 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины (модуля)

Оптимальные 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 2022 году.

Составитель (составители):

канд. техн. наук, доц.
(ученая степень и звание)


(подпись)

Д. А. Бушуев
(инициалы, фамилия)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 15 » сч 20 22 г., протокол № 8

И. о. заведующего кафедрой:

канд. техн. наук, доц.
(ученая степень и звание)


(подпись)

Д. А. Бушуев
(инициалы, фамилия)

Рабочая программа согласована с выпускающей(ими) кафедрой(ами)

Технической кибернетики

(наименование кафедры/кафедр)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 28 » сч 20 22 г., протокол № 8

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-3.5. Разрабатывает математические модели и проводит компьютерное моделирование адаптивных и оптимальных систем управления	<p>Знать: основные понятия, в области теории оптимизации: критерии, ограничения, методы оптимизации автоматических систем управления, литературных и иных источников для дальнейшего самостоятельного получения дополнительной современной информации по данной тематике</p> <p>Уметь: применять теоретические знания при решении практических задач синтеза оптимальных законов управления технических систем</p> <p>Владеть: навыками самостоятельной работы с моделями систем автоматического управления, реальными системами и самостоятельного поиска оптимизированных решений.</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	Оптимальные 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. Экстремальные задачи оптимального управления					
	Постановка задачи оптимального управления. Понятие о критериях оптимальности. Виды ограничений. Виды функционалов качества. Классификация вариационных задач управления. Задачи Лагранжа, Больца, Майера. Условия трансверсальности в задачах оптимального управления с подвижными концами	4	4	2	12
2. Классические методы оптимизации					
	Решение задачи оптимизации с помощью вариационного исчисления. Задачи на условный экстремум. Синтез оптимального регулятора методом вариационного исчисления для системы управления частотой вращения ДПТ	2	4	4	20
3. Принцип максимума Понтрягина					
	Геометрическая интерпретация принципа максимума. Методика решения задачи оптимизации с использованием принципа максимума. Синтез оптимального управления по быстродействию для объекта второго порядка с передаточной функцией, имеющей действительные корни. Оптимальная траектория на фазовой плоскости, оптимальная структура системы. Системы с нейтральной линейной частью. Уравнения движения и допустимые воздействия. Фазовый портрет. Структура управляющего устройства. Система с неустойчивым объектом.	6	12	5	32
4. Метод динамического программирования Беллмана					
	Принцип оптимальности Беллмана. Математическая трактовка принципа. Функциональное уравнение Беллмана	2	6	2	14
5. Прикладные задачи оптимального управления					
	Синтез оптимальной структуры системы управления с объектом, описываемом передаточной функцией консервативного звена (системы с линейной частью из двух интегрирующих звеньев). Фазовый портрет оптимальной системы. Структура системы. Системы с запаздыванием. Примеры	3	8	6	32
	ВСЕГО	17	34	17	108

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	№ раздела дисциплины (в соответствии с п.4.1)	Тема практического занятия	К-во часов	К-во часов СРС
<i>семестр № 2</i>				
1	1	Критерии. Ограничения. Типы задач: Лагранжа, Больца, Майера. Трансверсальность.	2	2
2	2	Синтез оптимального регулятора частоты вращения ДПТ с независимым возбуждением и управлением со стороны якоря методом вариационного исчисления	2	2
3	3	Решение задач оптимизации для объектов управления второго порядка с применением методики принципа максимума	5	6
4	4	Решение задач о выборе кратчайшего пути с применением методики принципа программирования	2	2
5	5	Системы с неустойчивым объектом и неустойчивой линейной частью. Системы с запаздыванием.	6	12
ИТОГО:			17	24
ВСЕГО:			17	24

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.	1	Логистика запасов. Оптимизация размера заказа на комплектующее изделие	6	6
2.	3	Вывод объекта n-го порядка с запаздыванием на заданный технологический режим	5	5
3.	3	Синтез системы управления с оптимальным быстродействием	6	6
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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Экстремальные задачи управления	<ol style="list-style-type: none">1. С помощью каких переменных можно характеризовать состояние объекта управления?2. Что такое допустимое управление?3. Какая точка на фазовой траектории называется достижимой?4. Что собой представляет функция цели?5. В какой форме представляется функционального качества?6. Какие виды функционалов качества вы знаете?7. Чем отличаются задачи Лагранжа, Больца и Майера?8. В чем состоят условия трансверсальности?
2	Классические методы оптимизации	<ol style="list-style-type: none">9. Изложите особенности задачи на условный экстремум?10. Какое уравнение называется уравнением связи?11. Как задача на условный экстремум сводится к задаче на безусловный экстремум?12. Приведите уравнение Эйлера-Лагранжа и объясните какие неизвестные функции определяются в результате их решения?
3	Принцип максимума Понтрягина	<ol style="list-style-type: none">13. Изложите общую постановку задачи оптимизации и дайте её геометрическую трактовку.14. Изложите методику решения задачи оптимизации методом Понтрягина.15. Дайте геометрическую интерпретацию принципа максимума в задаче о быстродействии.16. Проиллюстрируйте на примере применение принципа максимума.17. Сформулируйте теорему об n-интервалах.
4	Метод динамического программирования Беллмана	<ol style="list-style-type: none">18. В чем состоит принцип оптимальности Беллмана?19. Дайте математическую трактовку принципа оптимальности Беллмана.20. Запишите функциональное уравнение Беллмана.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
5	Прикладные задачи оптимального управления	21. Приведите примеры постановки прикладных задач оптимального управления. 22. Как определяется линия переключения на фазовой плоскости? 23. В чем особенность задачи об оптимальном управлении объектом, представляющим консервативное звено? 24. В чем особенность оптимального фазового портрета системы с запаздыванием? 25. Изложите методику решения задачи об оптимальном управлении посадкой аппарата на Луну.

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	Логистика запасов. Оптимизация размера заказа на комплектующее изделие	1. Назовите цель управления запасами. 2. Приведите примеры видов издержек, связанных с содержанием заказа на складе. 3. Приведите примеры видов издержек, связанных с доставкой заказа на склад. 4. Исходя из формулы Уилсона, проанализируйте, как можно влиять на оптимальный размер заказа комплектующего изделия. 5. Покажите вид графиков первой и второй производных от выражения 6. Покажите дискретную форму графика поставок комплектующего изделия на склад и его расходование? 7. Назовите критерий и ограничения в рассмотренной задаче управления запасами. 8. Перечислите выгоды от содержания запасов на складе. Что произойдет, если эти запасы уменьшить в 2 раза (сделать нулевыми)? 9. Расскажите о моделировании задачи в подсистеме Simulink системы MATLAB. 10. Сделайте выводы по работе.

В каком виде записывается функционал при оптимизации системы по быстрдействию?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) J = \int_{t_0}^{t_k} (\sum_j c_j |u_j|) dt; \quad 4) J = \int_{t_0}^{t_k} t \cdot dt;$$

$$2) J = \int_{t_0}^{t_k} (\sum_j c_j u_j^2) dt; \quad 5) J = \int_{t_0}^{t_k} (\sum_j c_j x_j^2) dt.$$

$$3) J = \int_{t_0}^{t_k} dt;$$

В каком виде записывается функционал при оптимизации системы по быстрдействию и расходу топлива?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) J = \int_{t_0}^{t_k} (1+u) dt; \quad 4) J = \int_{t_0}^{t_k} (t+k|u|) dt;$$

$$2) J = \int_{t_0}^{t_k} (t+u) dt; \quad 5) J = \int_{t_0}^{t_k} (1+k|u|) dt.$$

$$3) J = \int_{t_0}^{t_k} (1+ku^2) dt;$$

В каком виде записывается функционал при оптимизации системы по расходу топлива?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) J = \int_{t_0}^{t_k} (\sum_j c_j |u_j|) dt; \quad 4) J = \int_{t_0}^{t_k} t \cdot dt;$$

$$2) J = \int_{t_0}^{t_k} (\sum_j c_j u_j^2) dt; \quad 5) J = \int_{t_0}^{t_k} (\sum_j c_j x_j^2) dt.$$

$$3) J = \int_{t_0}^{t_k} dt;$$

Дана задача вариационного исчисления:

$$J[x(t)] = \int_{t_0}^{t_k} f_0[x(t), \dot{x}(t), t] dt \rightarrow \text{extr},$$

$$x(t_0) = x_0, \quad x(t_k) = x_k.$$

Какой вид имеет необходимое условие экстремума для этой задачи?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \frac{\partial f_0}{\partial x} + \frac{d}{dt} \frac{\partial f_0}{\partial \dot{x}} = 0; \quad 4) \frac{\partial f_0}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f_0}{\partial \dot{x}} = 0;$$

$$2) \frac{\partial f_0}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f_0}{\partial \dot{x}} = 0; \quad 5) \frac{\partial f_0}{\partial \dot{x}} + \frac{d}{dt} \frac{\partial f_0}{\partial x} = 0.$$

$$3) \frac{\partial f_0}{\partial \dot{x}} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f_0}{\partial x} = 0;$$

Определите уравнение Эйлера для задачи вариационного исчисления:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} [\dot{x}^2(t) - x^2(t)] dt \rightarrow \max.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \dot{x} + x = 0; \quad 3) \ddot{x} + \dot{x} = 0; \quad 5) \ddot{x} + x = 0.$$

$$2) \ddot{x} - x = 0; \quad 4) \ddot{x} - \dot{x} = 0;$$

При помощи принципа максимума решается задача оптимального по быстродействию управления объектом, описываемым уравнениями:

$$\dot{x}_1 = x_2; \quad \dot{x}_2 = -ax_2 + ku.$$

Определите функцию Гамильтона.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) $H = \Psi_1(-ax_2 + ku) + \Psi_2 x_2;$ 4) $H = \Psi_1 x_2 - \Psi_2 a x_2 + \Psi_3 ku;$
 2) $H = \Psi_1(ax_2 - ku) - \Psi_2 x_2;$ 5) $H = \Psi_1 x_2 + \Psi_2(-ax_2 + ku).$
 3) $H = -\Psi_1 x_2 - \Psi_2(-ax_2 + ku);$

Решается задача оптимального по быстродействию управления объектом, описываемым уравнениями:

$$\frac{dx_1}{dt} = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + b_1u;$$

$$\frac{dx_2}{dt} = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + b_2u.$$

Какой вид имеет сопряженная система уравнений относительно переменных Ψ_1, Ψ_2 ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) $\frac{d\Psi_1}{dt} = -a_{11}\Psi_1 - a_{21}\Psi_2 - b_1u;$ 3) $\frac{d\Psi_1}{dt} = -a_{11}\Psi_1 - a_{21}\Psi_2,$
 $\frac{d\Psi_2}{dt} = -a_{12}\Psi_1 - a_{22}\Psi_2 - b_2u;$ $\frac{d\Psi_2}{dt} = -a_{12}\Psi_1 - a_{22}\Psi_2;$
 2) $\frac{d\Psi_1}{dt} = a_{11}\Psi_1 + a_{21}\Psi_2 + b_1u;$ 4) $\frac{d\Psi_1}{dt} = a_{11}\Psi_1 + a_{21}\Psi_2,$
 $\frac{d\Psi_2}{dt} = a_{12}\Psi_1 + a_{22}\Psi_2 + b_2u;$ $\frac{d\Psi_2}{dt} = a_{12}\Psi_1 + a_{22}\Psi_2.$

Задача оптимального по быстродействию управления решается с помощью принципа максимума. Получен гамильтониан

$$H = \Psi_1 x_2 + \Psi_2 x_3 + \Psi_3 u.$$

Какой вид имеет оптимальное управление $u(t)$, если $|u(t)| \leq 1$?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) $u(t) = -\Psi_3(t);$ 3) $u(t) = -\text{sign}\Psi_3(t);$ 5) $u(t) = |\Psi_3(t)|.$
 2) $u(t) = \Psi_3(t);$ 4) $u(t) = \text{sign}\Psi_3(t);$

Объект управления описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = u, \quad |u| \leq U_{\text{макс}}.$$

Сколько интервалов постоянства имеет в общем случае оптимальное по быстродействию управление $u(t)$?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) мало данных.

Объект управления описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = -ax_1 + k_1x_2, \quad \dot{x}_2 = -bx_2 + k_2u, \quad |u| \leq U_{\text{макс}}.$$

Сколько интервалов постоянства имеет в общем случае оптимальное по быстродействию управление $u(t)$?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) мало данных.

Объект управления описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = -ax_1 + u, \quad |u| \leq U_{\text{макс}}.$$

Сколько интервалов постоянства имеет в общем случае оптимальное по быстродействию управление $u(t)$?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) мало данных.

Объект управления описывается уравнением

$$\frac{d^3x}{dt^3} + 5\frac{d^2x}{dt^2} + 4\frac{dx}{dt} = ku, \quad |u| \leq U_{\text{макс}}.$$

Сколько интервалов постоянства имеет в общем случае оптимальное по быстродействию управление $u(t)$?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) мало данных.

Объект управления описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = x_2; \quad \dot{x}_2 = u, \quad \text{где } |u| \leq 1.$$

На рис. 14.3 показаны фазовые траектории:

$$x_2 = +x_1^2/2 + C_1 \text{ при } u=1;$$

$$x_2 = -x_1^2/2 + C_2 \text{ при } u=-1.$$

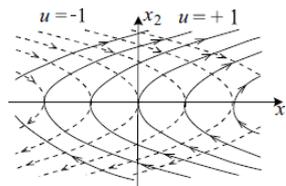


Рис. 14.3

Какой вид имеет уравнение линии переключения, если целью управления является перевод объекта из произвольного начального состояния (x_{10}, x_{20}) в начало координат $(0, 0)$?

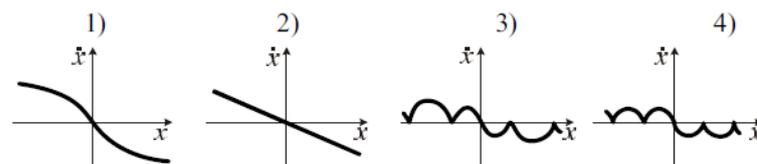
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) $x_2 + \frac{x_1^2}{2} \text{sign}x_2 = 0$; 3) $x_1^2 + \frac{x_2^2}{2} \text{sign}x_2 = 0$;
 2) $x_1 + \frac{x_2^2}{2} \text{sign}x_2 = 0$; 4) $x_1 \text{sign}x_2 + x_2 = 0$.

Какой вид имеет линия переключения при оптимальном по быстродействию управлении объектом, описываемым уравнением

$$\ddot{x} + x = ku?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



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 применять теоретические знания при решении практических задач синтеза оптимальных законов управления технических систем
Навыки	Владеть навыками самостоятельной работы с моделями систем автоматического управления, реальными системами и самостоятельного поиска оптимизированных решений.

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 принципов в области машинного обучения	Не знает терминов, классификаций, современных методов машинного обучения, основных принципов в области машинного обучения	Знает термины, классификации, современные методы машинного обучения, но допускает неточности формулировок	Знает термины, классификации, современные методы машинного обучения, основных принципов в области машинного обучения	Знает термины, классификации, современные методы машинного обучения, основных принципов в области машинного обучения, может корректно сформулировать их самостоятельно
Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Знает только основную 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

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
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 применять теоретические знания при решении практических задач синтеза оптимальных законов управления технических систем	Не умеет применять теоретические знания при решении практических задач синтеза оптимальных законов управления технических систем	Умеет применять теоретические знания при решении типовых практических задач анализа систем	Умеет применять теоретические знания при решении типовых практических задач оптимизации систем второго порядка	Умеет применять теоретические знания при решении стандартных практических задач

Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Владеть навыками самостоятельной работы с моделями систем автоматического управления, реальными системами и	Не владеет навыками работы с моделями и реальными системами оптимального управления	Имеет слабые навыки работы с моделями и реальными системами и постоянно требуется дополнительная помощь	Демонстрирует навыки самостоятельной работы с моделями и реальными системами оптимального класса и самостоятельного поиска информации о них	Успешно применяет навыки работы с моделями и реальными системами оптимального класса, в том числе самостоятельного поиска информации об этих

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
самостоятельного поиска оптимизированных решений.				моделях, системах и способах оптимизации

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	Лаборатория теории автоматического управления и моделирования средств управления УК 4, № 231	Специализированная мебель; мультимедийный проектор, экран, ноутбук; проектор с переносным экраном; 6 персональных компьютеров с доступом в сеть Интернет; стенд для исследования мобильных роботов, шкаф автоматизации лабораторной установки для изучения САР уровня
2	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Специализированная мебель; компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет», имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду
3	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	Microsoft Windows 10 Корпоративная	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023). Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017
2	Microsoft Office Professional Plus 2016	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023
3	Kaspersky Endpoint Security «Стандартный Russian Edition»	Сублицензионный договор № 102 от 24.05.2018. Срок действия лицензии до 19.08.2020 Гражданско-правовой Договор (Контракт) № 27782 «Поставка продления права пользования (лицензии) Kaspersky Endpoint Security от 03.06.2020. Срок действия лицензии 19.08.2022г.
4	MathWorks	Лицензия №1145851 бессрочная
5	MSC Easy5, Patran, Nastran, Adams	Соглашение RE008959BST-1 от 26.11.2018 бессрочная

6	Интерпретатор языка python с установленными библиотеками matplotlib, mglearn, Jupyter Notebook, pandas, SciPy, NumPy, scikit-learn, TensorFlow.	свободно распространяемое программное обеспечение
7	Google Collab	свободно распространяемое программное обеспечение

6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

1. Рубанов В.Г. Теория нелинейных систем автоматического управления. Учебное пособие. Белгород, изд-во БГТУ, 2015.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 4, Теория автоматизации систем автоматического управления. М., изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008.
3. 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
4. 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. Пантелеев А.В., Бортакровский А.С., Летова Т.А. Оптимальное управление в примерах и задачах. М: Издательство МАИ, 1996.
2. Васильев О.В., Аргучинцев А.В. Методы оптимизации в задачах и упражнениях, 1999.
3. Ariyur, K.V. and M. Krstic, 2003. Real-Time Optimization by Extremum-Seeking Control. USA, John Wiley & Sons Ins., pp: 230
4. Betts J.T. Practical methods for optimal control and estimation using nonlinear programming, 2010 / SIAM ISBN10/ISBN13 : 0898716888/9780898716887 Pages :449
5. Матвеев А.С., Якубович В.А. Оптимальные системы управления: обыкновенные дифференциальные управления. Специальные задачи. Спб., Издательство СПбГУ, 2003.
6. Ванько В.И, Ермошина О.В., Кувыргин Г.Н. Вариационное исчисление и оптимальное управление. М: Издательство МГТУ им Н.Э. Баумана, 2006.
7. Галеев Э.М. Оптимизация. Теория. Примеры. Задачи. М: URSS, 2006.
8. Павлов А.А. Синтез релейных систем, оптимальных по быстродействию. –М., Наука, 1966.
9. Брайсон А., Хью-Ши. Прикладная теория оптимального управления. –М., Мир, 1972.

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