

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



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины (модуля)

Вариационное исчисление

Направление подготовки (специальность):

27.03.04 Управление в технических системах

Направленность программы (профиль, специализация):

Управление и информатика в технических системах

Квалификация:

бакалавр

Форма обучения

очная

Институт Энергетики, информационных технологий и управляющих систем

Кафедра Технической кибернетики

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования 27.03.04 Управление в технических системах (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 871 от 31 июля 2020 г.
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В. Г. Шухова в 20 21 году.

Составитель (составители):

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



(подпись)

Ю. А. Гольцов  
(инициалы, фамилия)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 14 » 05 20 21 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой:

д-р техн. наук, проф.  
(ученая степень и звание)



(подпись)

В. Г. Рубанов  
(инициалы, фамилия)

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

Технической кибернетики

(наименование кафедры/кафедр)

Заведующий кафедрой:

д-р техн. наук, проф.  
(ученая степень и звание)



(подпись)

В. Г. Рубанов  
(инициалы, фамилия)

« 14 » 05 20 21 г.

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 20 » 05 20 21 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	ПК-2. Способен организовать и осуществлять расчет и реализацию систем автоматического управления несложными техническими объектами на базе серийных комплектующих элементов и микроконтроллерной техники	ПК-2.12. Анализирует, ранжирует, интерпретирует экстремальные задачи в приложениях, связанных с оптимизацией различных процессов систем автоматического управления несложными техническими объектами	<p><b>Знать:</b> место и роли экстремальных задач в математике и в приложениях, связанных с оптимизацией различных процессов.</p> <p><b>Уметь:</b> решать вариационные задачи с неподвижными и подвижными границами, задачи на условный экстремум, определять тип экстремума.</p> <p><b>Владеть:</b> пакетами прикладных программ с целью проведения вычислительных экспериментов для исследования математических моделей процессов и объектов автоматизации и управления;</p>
		ПК-2.13. Применяет математическое моделирование при расчете систем автоматического управления несложными техническими объектами с использованием методов вариационного исчисления	<p><b>Знать:</b> виды математических моделей объектов процессов и объектов автоматизации и управления; классические понятия вариационного исчисления.</p> <p><b>Уметь:</b> составлять математические модели процессов и объектов автоматизации и управления; обобщать и ставить задачи вариационного исчисления.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками решения вариационных задач, навыками применения принципа максимума при решении задач оптимального управления</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

**1. Компетенция ПК-2.** Способен организовывать и осуществлять расчет и реализацию систем автоматического управления несложными техническими объектами на базе серийных комплектующих элементов и микроконтроллерной техники.

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1	Физика
2	Высшая математика
3	Информационные технологии
4	Программирование и основы алгоритмизации
5	Теория автоматического управления

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зач. единицы, 108 часов. Дисциплина реализуется в рамках практической подготовки.

Форма промежуточной аттестации \_\_\_\_\_ зачет.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 6
Общая трудоемкость дисциплины, час	108	108
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в том числе:</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
лекции	34	34
лабораторные		
практические	17	17
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	3	3
<b>Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
курсовой проект		
курсовая работа		
расчетно-графическое задание		
индивидуальное домашнее задание		
самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	18	18
экзамен	36	36

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Наименование тем, их содержание и объем

Курс 3. Семестр 5

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
<b>1. Классическое вариационное исчисление</b>					
	Задачи, приводящие к вариационным проблемам. Основные определения.	2			1
	Основные леммы вариационного исчисления. Простейшая задача вариационного исчисления	4			2
	Вариационные задачи с фиксированными границами. Функционалы от нескольких функций. Функционалы с производными высшего порядка. Функционалы от функций многих переменных	4	2		4
	Канонический вид уравнений Эйлера.	4	2		4
	Вариационные задачи с подвижными границами. Задача с подвижными концами. Задача с подвижными границами. Экстремали с угловыми точками	4	2		4
	Задачи на условный экстремум. Основные типы задач на условный экстремум. Задача Лагранжа. Задача Майера. Задача Больца.	4	2		4
	Достаточные условия экстремума. Слабый экстремум. Условие Якоби. Инвариантный интеграл Гильберта. Сильный экстремум.	4	2		4
<b>2. Вариационные методы в оптимальном управлении</b>					
	Вариационные методы в оптимальном управлении. Принцип максимума	4	3		5
	Метод динамического программирования. Принцип оптимальности. Уравнение Беллмана. Связь метода динамического программирования с принципом максимума.	4	4		6
	<b>ВСЕГО</b>	<b>34</b>	<b>17</b>	<b>-</b>	<b>34</b>

## 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	Колич. часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
семестр №5				
1	Классическое вариационное исчисление	Вариационные задачи с фиксированными границами	2	2
2		Уравнения Эйлера.	2	2
3		Вариационные задачи с подвижными границами.	2	2
4		Задачи на условный экстремум.	2	2
5		Достаточные условия экстремума.	2	2
6	Вариационные методы в оптимальном управлении	Принцип максимума.	3	3
7		Метод динамического программирования.	4	4
<b>ИТОГО:</b>			<b>17</b>	<b>17</b>
<b>ВСЕГО:</b>			<b>17</b>	<b>17</b>

## 4.3. Содержание лабораторных занятий

Не предусмотрено учебным планом.

## 4.4. Содержание курсового проекта/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-2.** Способен организовывать и осуществлять расчет и реализацию систем автоматического управления несложными техническими объектами на базе серийных комплектующих элементов и микроконтроллерной техники.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПК-2.12. Анализирует, ранжирует, интерпретирует экстремальные задачи в приложениях, связанных с оптимизацией различных процессов систем автоматического управления несложными техническими объектами	защита практических работ, зачет.
ПК-2.13. Применяет математическое моделирование при расчете систем автоматического управления несложными техническими объектами с использованием методов вариационного исчисления	защита практических работ, зачет.

## 5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

### 5.2.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для зачета

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Классическое вариационное исчисление	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Перечислите задачи, приводящие к вариационным проблемам.</li><li>2. Перечислите основные определения вариационного исчисления</li><li>3. Что такое функционал?</li><li>4. Основные леммы вариационного исчисления</li><li>5. Сформулируйте простейшую задачу вариационного исчисления</li><li>6. Вариационные задачи с фиксированными границами</li><li>7. Функционалы от нескольких функций. Функционалы с производными высшего порядка. Функционалы от функций многих переменных</li><li>8. Приведите канонический вид уравнений Эйлера</li><li>9. Перечислите аксиомы линейного пространства.</li><li>10. Вариационные задачи с подвижными границами.</li><li>11. Приведите основные задачи на условный экстремум.</li><li>12. Что такое задача Лагранжа?</li><li>13. Приведите достаточные условия экстремума.</li><li>14. Чем различаются слабый и сильный экстремум?</li></ol>
2	Вариационные методы в оптимальном управлении	<ol style="list-style-type: none"><li>15. Опишите применение вариационных методов в оптимальном управлении.</li><li>16. Приведите постановку задачи оптимального управления</li><li>17. Сформулируйте принцип максимума Понтрягина</li><li>18. Опишите применение принципа максимума в задаче быстрого действия</li><li>19. Опишите применение принципа максимума в задаче синтеза управления</li><li>20. Опишите применение принципа максимума в задачах с подвижными концами</li><li>21. Сформулируйте принцип оптимальности для метода динамического программирования</li><li>22. Опишите применение уравнения Беллмана.</li><li>23. В чем заключается связь метода динамического программирования с принципом максимума?</li><li>24. Сформулируйте задачу оптимальной стабилизации</li><li>25. Сформулируйте принцип Лагранжа.</li><li>26. В чем состоит метод Лагранжа?</li><li>27. Постановка задачи Лагранжа в форме Понтрягина.</li><li>28. Постановка задачи оптимального управления.</li><li>29. В чем отличие задачи Лагранжа в форме Понтрягина от задачи оптимального управления?</li><li>30. Что называется функцией Гамильтона?</li><li>31. Выпишите условия трансверсальности</li><li>32. Как ставится простейшая задача оптимального быстрого действия?</li></ol>

## 5.2.2. Перечень контрольных материалов для защиты курсового проекта / курсовой работы

Не предусмотрено учебным планом.

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

В практикуме по дисциплине представлен перечень работ, обозначены цель и задачи, необходимые теоретические и методические указания к работе, перечень контрольных вопросов.

Защита практических 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 практического (семинарского) занятия	Примеры контрольных заданий
	Практическое занятие №1. Вариационные задачи с фиксированными границами	<p>Задание. Для своего варианта функционалов найти экстремали и построить их графики</p> <p style="text-align: center;">1.</p> $J(y) = \int_{-1}^1 (y'^2 + 4y^2 - 8xy + 2x^2) dx,$ $y(-1) = 3;$ $y(1) = 1$ <p style="text-align: center;">2.</p> $J(y) = \int_0^2 (y'^2 + 4y' \cdot e^{2x} + \sin^2 x) dx,$ $y(0) = 1;$ $y(2) = -2$ <p style="text-align: center;">3.</p> $J(y) = \int_0^1 y \cdot \sqrt{1 + y'^2} dx,$ $y(0) = 2;$ $y(1) = 3$ <p>1. Перечислите задачи, приводящие к вариационным проблемам. 2. Перечислите основные определения вариационного исчисления. 3. Что такое функционал? 4. Основные леммы вариационного исчисления 5. Сформулируйте простейшую задачу вариационного исчисления 6. Вариационные задачи с фиксированными границами.</p>



№	Тема практического (семинарского) занятия	Примеры контрольных заданий
	Практическое занятие №2. Уравнения Эйлера	<p>Задание.</p> <p>Для своего варианта функционалов найти экстремали и построить их графики</p> <p style="text-align: center;">1.</p> $J(y_1, y_2) = \int_0^1 (2y_1' y_2' - y_1^2 + y_2^2 - 2y_1 e^x) dx,$ $y_1(0) = 0; y_2(0) = 1; y_1(1) = 1; y_2(1) = 0$ <p style="text-align: center;">2.</p> $J(y(x)) = \int_0^1 (y''^2 - 2y'^2 + y^2 - 2ye^x) dx,$ $y(0) = 2; y(1) = 0; y'(0) = 1; y'(1) = -1$ <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Функционалы от нескольких функций.</li> <li>2. Функционалы с производными высшего порядка.</li> <li>3. Функционалы от функций многих переменных</li> <li>4. Приведите канонический вид уравнений Эйлера</li> <li>5. Перечислите аксиомы линейного пространства.</li> </ol>
3.	Практическое занятие №3. Вариационные задачи с подвижными границами.	<p>Задание.</p> <p>Для своего варианта функционала найти экстремаль и построить ее график, если левый конец фиксирован в точке, а правый находится на прямой <math>x=b</math></p> <p style="text-align: center;">1.</p> $J(y) = \int_{-1}^x (y'^2 + 4y^2 - 8xy + 2x^2) dx,$ $y(-1) = 3;$ $x = 1$ <p style="text-align: center;">2.</p> $J(y) = \int_0^x (2y'^2 + 2y^2 + xysinx + 6xe^x) dx,$ $y(0) = 1;$ $x = 2$ <p>Задание. Для своего варианта функционалов найти экстремали и построить их графики при заданном изопериметрическом условии</p> <p style="text-align: center;">3.</p> $J(y) = \int_{-1}^1 (y'^2 + 4y^2 - 8xy + 2x^2) dx,$ $y(-1) = 3;$ $y(1) = 1;$ $K(y) = \int_{-1}^1 y dx = 1$

№	Тема практического (семинарского) занятия	Примеры контрольных заданий
4.	Практическое занятие №4. Задачи на условный экстремум.	<p>Задание. Для своего варианта найти кратчайшее расстояние от точки <math>A(x_0, y_0)</math> до кривой <math>y(x)</math>. Привести рисунок решения задачи</p> <p>1.  <math>A(-1,3);</math>  <math>y(x) = e^x - 2</math></p> <p>2.  Найти кратчайшее расстояние между окружностью <math>y^2 + x^2 = 9</math> и прямой <math>y = x + 5</math>.</p> <p>3.  Найти кратчайшее расстояние между параболой <math>y = x^2 + 3</math> и прямой <math>y = x - 1</math>.</p> <p>4.  Задание. Для своего варианта функционалов найти экстремали и построить их графики при заданном изопериметрическом условии</p> <p>3.  <math display="block">J(y) = \int_{-1}^1 (y'^2 + 4y^2 - 8xy + 2x^2) dx,</math> <math display="block">y(-1) = 3;</math> <math display="block">y(1) = 1;</math> <math display="block">K(y) = \int_{-1}^1 y dx = 1</math></p> <p>1. Приведите основные задачи на условный экстремум.  2. Что такое задача Лагранжа?  3. Приведите достаточные условия экстремума.  4. Чем различаются слабый и сильный экстремум?</p>
5.	Практическое занятие №5. Достаточные условия экстремума.	<p>1.  Найти экстремумы функции <math>f(x) = -x^2 + 4x - 3</math>.</p> <p>2.  Найти экстремумы функции <math>f(x) = x^{1/x}</math>.</p> <p>3.  Найти экстремумы функции <math>f(x) = x^2 e^{-x}</math></p>

6.	<p>Практическое занятие №6. Принцип максимума.</p>	<p>Задание. Применение принципа Лагранжа для задачи управления:</p> $\int_0^{\pi/2} u^2 dt \rightarrow \text{extr}$ $\ddot{x} + x = u,$ $x_1(0) = \dot{x}_2(0) = 0,$ $x_1(\pi/2) = 1$ <p style="text-align: center;">2.</p> <p>Применение принципа максимума Понтрягина для решения задачи оптимального управления с ограничениями на фазовые координаты и управления:</p> $\varphi(u) = \int_0^1 x_1(1) dt \rightarrow \min$ $\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = u \end{cases}$ $ u(t)  \leq 2$ $\ddot{x} + x = u,$ $g_1 = x_1(0) + x_1(1) = 0,$ $g_2 = x_2(0) + x_2(1) = 0$ $x_1(\pi/2) = 1$ <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Опишите применение вариационных методов в оптимальном управлении.</li> <li>2. Приведите постановку задачи оптимального управления</li> <li>3. Сформулируйте принцип максимума Понтрягина</li> <li>4. Опишите применение принципа максимума в задаче быстрогодействия</li> <li>5. Опишите применение принципа максимума в задаче синтеза управления</li> <li>6. Опишите применение принципа максимума в задачах с подвижными концами.</li> <li>7. Сформулируйте принцип Лагранжа.</li> <li>8. В чем состоит метод Лагранжа?</li> <li>9. Постановка задачи Лагранжа в форме Понтрягина.</li> <li>10. Постановка задачи оптимального управления.</li> <li>11. В чём отличие задачи Лагранжа в форме Понтрягина от задачи оптимального управления?</li> <li>12. Что называется функцией Гамильтона?</li> <li>13. Сформулируйте принцип максимума Понтрягина.</li> <li>14. Выпишите условия трансверсальности</li> <li>15. Как ставится простейшая задача оптимального быстрогодействия?</li> <li>16. Сформулируйте линеаризованный принцип максимума.</li> <li>17. Условия применения линеаризованного принципа максимума.</li> </ol>
----	--------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

№	Тема практического (семинарского) занятия	Примеры контрольных заданий																																																			
7.	Практическое занятие №7 Метод динамического программирования.	<p>Задание.</p> <p>1.</p> <p>Для двух предприятий выделено 1400 единиц денежных средств. Как распределить все средства в течение 4 лет, чтобы доход был наибольшим, если известно, что доход от <math>x</math> единиц, вложенных в первое предприятие равен <math>f_1(x) = 3x</math>, а доход от <math>y</math> единиц, вложенных в первое предприятие равен <math>f_2(y) = 4y</math>. Остаток средств к концу года составляет <math>g_1(x) = 0,5x</math> - для первого предприятия, <math>g_2(y) = 0,3y</math> - для второго предприятия. Решить задачу методом динамического программирования.</p> <p>2.</p> <p>Для двух предприятий выделено <math>a</math> единиц средств. Как распределить все средства в течение 4 лет, чтобы доход был наибольшим, если известно, что доход от <math>x</math> единиц средств, вложенных в первое предприятие, равен <math>f_1(x)</math>, а доход от <math>y</math> единиц средств, вложенных во второе предприятие, равен <math>f_2(y)</math>. Остаток средств к концу года составляет <math>g_1(x)</math> для первого предприятия и <math>g_2(y)</math> для второго предприятия. Задачу решить методом динамического программирования.</p> <table border="1" data-bbox="667 1093 1479 1167"> <thead> <tr> <th><math>a</math></th> <th><math>f_1</math></th> <th><math>g_1</math></th> <th><math>f_2</math></th> <th><math>g_2</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1000</td> <td><math>3x</math></td> <td><math>0,1x</math></td> <td><math>2y</math></td> <td><math>0,5y</math></td> </tr> </tbody> </table> <p>3.</p> <p>Планируется распределение начальной суммы <math>X_0</math> млн. р. Между четырьмя предприятиями некоторого объединения. Средства выделяются только в размерах кратных <math>a = 80</math> млн. р. Функции прироста продукции от вложенных средств на каждом предприятии заданы таблично. Требуется так распределить вложения между предприятиями, чтобы общий прирост продукции (в млн. р.) был максимальным. Решить задачу на основе функционального уравнения Беллмана.</p> <table border="1" data-bbox="699 1552 1423 1850"> <thead> <tr> <th rowspan="2"><math>X_0</math></th> <th rowspan="2">Вкладываемые средства <math>X</math></th> <th colspan="4">Функции прироста продукции на предприятии</th> </tr> <tr> <th><math>f_1(x)</math></th> <th><math>f_2(x)</math></th> <th><math>f_3(x)</math></th> <th><math>f_4(x)</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">400</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>13</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>13</td> <td>20</td> <td>17</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>160</td> <td>16</td> <td>22</td> <td>21</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>240</td> <td>21</td> <td>25</td> <td>26</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>320</td> <td>25</td> <td>30</td> <td>28</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>25</td> <td>32</td> <td>30</td> <td>32</td> </tr> </tbody> </table> <p>1. Сформулируйте принцип оптимальности для метода динамического программирования</p> <p>2. Опишите применение уравнения Беллмана.</p> <p>3. В чем заключается связь метода динамического программирования с принципом максимума?</p> <p>4. Сформулируйте задачу оптимальной стабилизации</p>	$a$	$f_1$	$g_1$	$f_2$	$g_2$	1000	$3x$	$0,1x$	$2y$	$0,5y$	$X_0$	Вкладываемые средства $X$	Функции прироста продукции на предприятии				$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$	400	0	10	15	13	14	80	13	20	17	16	160	16	22	21	23	240	21	25	26	25	320	25	30	28	27	400	25	32	30	32
$a$	$f_1$	$g_1$	$f_2$	$g_2$																																																	
1000	$3x$	$0,1x$	$2y$	$0,5y$																																																	
$X_0$	Вкладываемые средства $X$	Функции прироста продукции на предприятии																																																			
		$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$																																																
400	0	10	15	13	14																																																
	80	13	20	17	16																																																
	160	16	22	21	23																																																
	240	21	25	26	25																																																
	320	25	30	28	27																																																
	400	25	32	30	32																																																

#### 5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме зачета используется следующая шкала оценивания: зачтено, не зачтено.

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
Знания	Знание терминов, классификаций, основных принципов
	Объем освоенного материала
	Полнота ответов на вопросы
	Четкость изложения и интерпретации знаний
	Принципы получения данных для построения математических моделей
Умения	Умение пользоваться библиотечными каталогами, электронной библиотекой, Интернет-ресурсом
	Умение применять принципы и методы построения моделей, методы анализа, синтеза и оптимизации
	Умение применять инструментальные средства и технологии вариационного исчисления
Навыки	Владеть приемами самостоятельной работы с научно-технической литературой и поиска информации по тематике дисциплины в интернет-ресурсах
	Владеть навыками систематизации научно-технической информации
	Владеть методами моделирования, анализа, синтеза и оптимизации систем и средств автоматизации

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

#### Оценка сформированности компетенций по показателю Знание

Критерий	Уровень освоения и оценка	
	Не зачтено	Зачтено
Знание терминов, классификаций, основных принципов	Не знает терминов классификаций, основных принципов	Знает термины классификации, основные принципы, может корректно сформулировать их самостоятельно
Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Обладает полным знанием материала дисциплины
Полнота ответов на вопросы	Не дает ответы на большинство вопросов	Дает полные, развернутые ответы на поставленные вопросы
Четкость изложения и интерпретации знаний	Излагает знания без логической последовательности	Излагает знания в логической последовательности, самостоятельно их интерпретируя и анализируя
	Не иллюстрирует изложение поясняющими схемами, рисунками и примерами	Выполняет поясняющие рисунки и схемы точно и аккуратно, раскрывая полноту усвоенных знаний
	Неверно излагает и интерпретирует знания	Грамотно и точно излагает знания, делает самостоятельные выводы

Принципы получения данных для построения математических моделей	Не знает большинства принципов получения данных для построения математических моделей	В полном объеме знает принципы получения данных для построения математических моделей
-----------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

### Оценка сформированности компетенций по показателю Умение

Критерий	Уровень освоения и оценка	
	Не зачтено	Зачтено
Умение пользоваться библиотечными каталогами, электронной библиотекой, Интернет-ресурсом	Не умеет пользоваться библиотечными каталогами, электронной библиотекой, Интернет-ресурсом	Умеет пользоваться библиотечными каталогами, электронной библиотекой, Интернет-ресурсом
Умение применять принципы и методы построения моделей, методы анализа, синтеза и оптимизации	Не применять принципы и методы построения моделей, методы анализа, синтеза и оптимизации	Умеет применять принципы и методы построения моделей, методы анализа, синтеза и оптимизации
Умение применять инструментальные средства и технологии вариационного исчисления	Не умеет применять инструментальные средства и технологии вариационного исчисления	Умеет применять инструментальные средства и технологии вариационного исчисления

### Оценка сформированности компетенций по показателю Владение

Критерий	Уровень освоения и оценка	
	Не зачтено	Зачтено
Владеть приемами самостоятельной работы со справочной и научно-технической литературой и поиска информации по тематике дисциплины в интернет-ресурсах	Не использует научно-техническую литературу и не может правильно использовать средства поиска информации	Использует при подготовке справочную и научно-техническую литературу и может находить необходимую информацию в рамках дисциплины
Владеть навыками систематизации научно-технической информации	Не может систематизировать информацию в рамках дисциплины	Систематизирует научно-техническую информацию в соответствии с разделами дисциплины
Владеть методами моделирования, анализа, синтеза и оптимизации систем и средств автоматизации	Не использует методы моделирования, анализа, синтеза и оптимизации систем и средств автоматизации	В полном объеме использует методы моделирования, анализа, синтеза и оптимизации систем и средств автоматизации

## 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 вариационного анализа и идентификации технических объектов управления УК 4, № 231	Мультимедийный проектор, экран, ноутбук; специализированные персональные компьютеры с предустановленной средой математического моделирования и инженерного анализа.
2	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий УК 4, № 323	Мультимедийный проектор, экран, ноутбук; специализированная мебель
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	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	Matlab Simulink	Лицензия №1145851 бессрочная
5	MSC Easy5, Patran, Nastran, Adams	Соглашение RE008959BST-1 от 26.11.2018
6	Google Chrome	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
7	Mozilla Firefox	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
8	Master SCADA 4D	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения

## 6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

### 6.3.1. Перечень основной литературы

1. Абдрахманов, В. Г. Элементы вариационного исчисления и оптимального управления. Теория, задачи, индивидуальные задания: учеб. пособие / В. Г. Абдрахманов, А. В. Рабчук. – Москва: Лань", 2014. – 112 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 109. – ISBN 978-5-8114-1630-1.
2. Ванько, В.И. Вариационное исчисление и оптимальное управление: Учеб. для вузов / В.И. Ванько, О.В. Ермошина, Г.Н. Кувыркин; ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – 3-е изд., исправл. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 488 с.
3. Гюнтер, Н. М. Курс вариационного исчисления: учебник / Н. М. Гюнтер. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2009. – 308 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-0893-1
4. Дифференциальные и интегральные уравнения, вариационное исчисление в примерах и задачах: учеб. пособие / А. Б. Васильева, Г. Н. Медведев, Н. А. Тихонов, Т. А. Уразгильдина. - 3-е изд., испр. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2010. – 429 с. – (Учебник для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-0988-4
5. Оптимальное управление / Э. М. Галеев, М. И. Зеликин, С. В. Конягин [и др.]; ред. Н. П. Осмоловский. – Москва: МЦНМО, 2008. – 320 с. – ISBN 978-5-94057-367-8

### 6.3.2. Перечень дополнительной литературы

- 1) Башенков, С.А. Моделирование и формализация: Методическое пособие/ С.А. Бешенков, Е.А. Ракитина. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002.- 333 с.
- 2) Бенькович, Е.С. Практическое моделирование динамических систем / Е.С. Бенькович, Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Сениченков. - СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 444 с.
- 3) Краснов, М. Л. Векторный анализ. Задачи и примеры с подробными решениями: учеб. пособие / М. Л. Краснов, А. И. Киселев, Г. И. Макаренко. – 2-е изд., испр. – Москва: Едиториал УРСС, 2002. – 140 с. – ISBN 5-354-00014-9
- 4) Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH/ А.В. Леоненков. - СПб.: БХВ-Петербург, 2003.- 719 с.
- 5) Методы классической и современной теории автоматического управления: в 5 т.: учебник/ под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. Т.1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления, учебник. - МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 656 с.
- 6) Методы классической и современной теории автоматического управления: в 5 т.: учебник/ под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. Т.2: Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004 г., 640 с.



- 7) Пантелеев, А. В. Методы оптимизации в примерах и задачах: учеб. пособие / А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. – Изд. 2-е, испр. – Москва: Высшая школа, 2005. – 544 с. – (Прикладная математика для вузов). – ISBN 5-06-004137-9
- 8) Поршнева, С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MathCAD: Учебное пособие/ С.В. Поршнева. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004.- 319 с.
- 9) Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами: учебное пособие/ Э.Я. Рапопорт. - М.: Высшая школа, 2003.- 299 с.
- 10) Романко, В. К. Курс дифференциальных уравнений и вариационного исчисления: учеб. пособие / В. К. Романко. – 2-е изд. – Москва: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 344 с. – (Технический университет). – ISBN 5-93208-097-3
- 11) Самарский, А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры/ Самарский А.А., Михайлов А.П.- 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2001. - 316 с.
- 12) Семенов, М.Г. Введение в математическое моделирование/ М.Г. Семенов. - М.: СОЛОН-Р, 2002.- 112 с.
- 13) Советов, Б.Я. Моделирование систем: Учебник / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с.
- 14) Тарасевич, Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование: Вводный курс: Учебное пособие / Ю.Ю. Тарасевич. – 3-е изд., испр. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 143 с.
- 15) Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем: Учебник/ В.П. Тарасик. - 2-е изд., испр. и доп. - Минск: Дизайн ПРО, 2004.- 639 с.
- 16) Томашевский, В.Н. Имитационное моделирование в среде GPSS/ В.Н. Томашевский, Е.Г. Жданова. - М.: Бестселлер, 2003.- 412 с.
- 17) Федорюк, М. В. Обыкновенные дифференциальные уравнения: учебник / М. В. Федорюк. – 3-е изд., стереотип. – Санкт-Петербург: Лань, 2004. – 444 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 5-8114-0491-3

#### **6.4. Перечень интернет ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем**

1. <http://www.elibrary.ru> – Научная электронная библиотека.
2. <http://www.gpntb.ru/> – Государственная публичная научно-техническая библиотека России.
3. <http://elibrary.bmstu.ru> – Библиотека МГТУ им. Н.Баумана.
4. <http://www.viniti.ru> – Всероссийский институт научной информации по техническим наукам(ВИНИТИ).
5. <http://www.unilib.neva.ru/rus/> – Фундаментальная библиотека Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.
6. <http://elibrary.eltech.ru> – Библиотека Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета.
7. <http://www.ntb.bstu.ru> – Электронно-библиотечная система БГТУ им В.Г.Шухова.

## 7. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа утверждена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный год  
Выберите элемент..

Протокол № \_\_\_\_\_ заседания кафедры от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ В. Г. Рубанов  
подпись ФИО

Директор института \_\_\_\_\_ А. В. Белоусов  
подпись ФИО