

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С.А. ЕСЕНИНА»

Утверждаю

Декан физико-математического факультета



Федорова Н.Б.

«31» августа 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМ ОБЫКНОВЕННЫХ  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ»**

Уровень основной образовательной программы – **подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре**

Направление подготовки – **01.06.01 Математика и механика**

Направленность (профиль) – **Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление**

Форма обучения - **очная**

Срок освоения ООП - **4 года**

Факультет (институт) – **физико-математический**

Кафедра – **математики и методики преподавания математических дисциплин**

Язык преподавания - **русский**

Рязань, 2020

## ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Теория управления систем обыкновенных дифференциальных уравнений» являются формирование компетенций, предусмотренных ФГОС ВО и ОПОП ВО по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика, направленность (профиль) «Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление»; математической культуры аспирантов, фундаментальная подготовка аспирантов в области теории управления, овладение современными методами теории дифференциальных уравнений для дальнейшего использования в других областях математического знания.

Изучение дисциплины позволит овладеть необходимыми знаниями и умениями, которые потребуются аспирантам для выполнения научной работы.

### 2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО аспирантуры

2.1. Дисциплина «Теория управления систем обыкновенных дифференциальных уравнений» относится к вариативной части ОПОП ВО и является дисциплиной по выбору, запланированной для освоения (2 год обучения 4 семестр).

2.2. Для изучения данной дисциплины необходимы следующие знания, умения и владения, формируемые дисциплинами предшествующих уровней образования:

#### - Математический анализ, дифференциальные уравнения

Знания: основные понятия, определения и свойства объектов теории систем дифференциальных уравнений; формулировки и методы доказательства утверждений; методы исследования конкретных систем дифференциальных уравнений; возможные приложения теории в других областях математического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания.

Умения: доказывать утверждения теории систем дифференциальных уравнений; решать задачи теории систем дифференциальных уравнений; применять полученные навыки в других областях математического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания.

Владение: аппаратом теории систем дифференциальных уравнений; методами доказательства утверждений; навыками применения теории дифференциальных уравнений в других областях математического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания.

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<b>УК-1</b>	<p><b><u>Знать:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные методы научно-исследовательской деятельности.</li> <li>2. Современных научных достижений в области исследования управления систем дифференциальных уравнений.</li> </ol> <p><b><u>Уметь:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах.</li> <li>2. Критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника.</li> <li>3. Генерировать новые идеи при решении профессиональных задач.</li> </ol> <p><b><u>Владеть:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации, связанной с профессиональной деятельностью.</li> <li>2. Навыками выбора методов и средств решения задач исследования.</li> </ol>
<b>УК-3</b>	<p><b><u>Знать:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной при работе в исследовательских коллективах</li> </ol> <p><b><u>Уметь:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Следовать нормам, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных задач</li> <li>2. Осуществлять личностный выбор в процессе работы в российских и международных исследовательских коллективах, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой, коллегами и обществом.</li> </ol> <p><b><u>Владеть:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Навыками анализа основных проблем междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач в российских или международных исследовательских коллективах;</li> <li>2. Технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных задач, в том числе ведущихся на иностранном языке</li> <li>3. Технологиями планирования деятельности в рамках работы в российских и международных коллективах по решению научных задач</li> <li>4. Различными типами коммуникации при осуществлении работы в российских и международных коллективах по решению научных задач.</li> </ol>
<b>ОПК-1</b>	<p><b><u>Знать.</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наиболее важные научные результаты и проблемы современной математики и смежных областей.</li> <li>2. Современные методы исследования решений математических задач.</li> </ol> <p><b><u>Уметь.</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Применять основные математические методы и алгоритмы для решения стандартных задач математики</li> <li>2. Разрабатывать новые методы и алгоритмы исследования и применять их в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области</li> </ol>

	<p>математики, механики, естественных наук</p> <p><b><u>Владеть:</u></b></p> <p>1. Навыками построения и исследования математических моделей в естественных науках.</p>
<b>ПК-1</b>	<p><b><u>Знать.</u></b></p> <p>1. Определения основных понятий в теории управления систем дифференциальных уравнений.</p> <p>2. Смысл фундаментальных теорем, схемы их доказательств, класс задач, решение которых может быть найдено методами этой теории.</p> <p><b><u>Уметь.</u></b></p> <p>1. Формулировать проблему и ставить задачи для ее решения.</p> <p>2. Определять методы для решения поставленных задач.</p> <p>3. Анализировать полученные результаты, указать область их применения.</p> <p>4. Составлять краткий и содержательный доклад о методах решения задач и полученных результатах.</p> <p><b><u>Владеть:</u></b></p> <p>1. Навыками планирования, анализа, научно-познавательной деятельности.</p>
<b>ПК-4</b>	<p><b><u>Знать.</u></b></p> <p>1. Основные методы теории управления систем дифференциальных уравнений.</p> <p>2. Основные принципы построения математических моделей.</p> <p>3. Классы наиболее общих проблем, исследование которых может быть выполнено методами математического моделирования.</p> <p><b><u>Уметь.</u></b></p> <p>1. Анализировать поставленную задачу,</p> <p>2. Определить главные факторы, влияющие на развитие процесса,</p> <p>3. Построить адекватную математическую модель,</p> <p><b><u>Владеть:</u></b></p> <p>1. Навыками математического моделирования, численными методами.</p> <p>2. Навыками качественного анализа построенных математических моделей.</p>
<b>ПК-5</b>	<p><b><u>Знать:</u></b></p> <p>1. Теорию, основные принципы построения математических моделей,</p> <p>2. Класс наиболее общих проблем, исследование которых может быть выполнено методами математического моделирования, численными методами, комплексом компьютерных программ.</p> <p><b><u>Уметь:</u></b></p> <p>1. Анализировать поставленную задачу.</p> <p>2. Определить главные факторы, влияющие на развитие процесса.</p> <p>3. Построить адекватную математическую модель.</p> <p>4. Написать компьютерную программу для решения поставленной задачи.</p> <p><b><u>Владеть:</u></b></p> <p>1. Навыками математического моделирования.</p> <p>2. Численными методами.</p> <p>3. Навыками написания компьютерных программ для исследования достаточно общих проблем в смежных науках.</p>

<i>Карта компетенций дисциплины</i>					
<b>«Теория управления систем обыкновенных дифференциальных уравнений»</b>					
Цель		- формирование компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО и ОПОП ВО вуза по направлению - <b>01.06.01 Математика и механика</b> , направленность (профиль) - <b>Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление.</b>			
Задачи		Научить ориентироваться в задачах непосредственной применимости теории дифференциальных уравнений. Проводить самостоятельные решения различных задач с практическим содержанием. Определять круг задач, решения которых может быть выполнено теорией дифференциальных уравнений.			
В процессе освоения данной дисциплины обучающийся формирует и демонстрирует следующие					
<i>Универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции</i>					
Компетенции		Перечень компонентов	Технологии формирования	Форма оценочного средства	Уровни освоения компетенции
Индекс	Формулировка				
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	<p><b><u>Знать:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные методы научной исследовательской деятельности.</li> <li>2. Современных научных достижений в области исследования управления систем дифференциальных уравнений.</li> </ol> <p><b><u>Уметь:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах.</li> <li>2. Критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника.</li> <li>3. Генерировать новые идеи при решении профессиональных задач.</li> </ol> <p><b><u>Владеть:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации, связанной с профессиональной деятельностью.</li> </ol>	путем проведения практических занятий, самостоятельной работы аспиранта	Защита реферата, коллоквиум, письменный опрос, зачет	<p><b><u>Пороговый:</u></b> Знание общих положений, основных понятий. Применение методов теории управления систем дифференциальных уравнений.</p> <p><b><u>Повышенный:</u></b> Умение систематизировать полученные знания, поиск новых решений проблемных задач по теории управления систем дифференциальных уравнений</p>

		2. Навыками выбора методов и средств решения задач исследования.			
УК-3	Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективах по решению научно-образовательных задач.	<p><b><u>Знать:</u></b></p> <p>1. Особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной при работе в исследовательских коллективах</p> <p><b><u>Уметь:</u></b></p> <p>1. Следовать нормам, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных задач</p> <p>2. Осуществлять личностный выбор в процессе работы в российских и международных исследовательских коллективах, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой, коллегами и обществом.</p> <p><b><u>Владеть:</u></b></p> <p>1. Навыками анализа основных проблем междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач в российских или международных исследовательских коллективах;</p> <p>2. Технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных задач, в том числе ведущихся на иностранном</p>	Путем проведения практических занятий, самостоятельной работы аспиранта	Защита реферата, контрольная работа, коллоквиум, письменный опрос, зачет	<p><b><u>Пороговый:</u></b></p> <p>Знание особенностей представления результатов научной деятельности в устной и письменной. Знание технологий оценки результатов коллективной деятельности по решению научных задач.</p> <p><b><u>Повышенный:</u></b></p> <p>Знание особенностей представления результатов научной деятельности в устной и письменной. Навыки анализа основных проблем междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач. Знание технологий оценки результатов коллективной деятельности по решению научных задач. Планирования деятельности в рамках работы по решению научных задач</p>

		<p>языке</p> <p>3. Технологиями планирования деятельности в раках работы в российских и международных коллективах по решению научных задач</p> <p>4. Различными типами коммуникации при осуществлении работы в российских и международных коллективах по решению научных задач.</p>			
ОПК-1	<p>способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</p>	<p><b><u>Знать.</u></b></p> <p>1. Наиболее важные научные результаты и проблемы современной математики и смежных областей.</p> <p>2. Современные методы исследования решений математических задач.</p> <p><b><u>Уметь.</u></b></p> <p>1. Применять основные математические методы и алгоритмы для решения стандартных задач математики</p> <p>2. Разрабатывать новые методы и алгоритмы исследования и применять их в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области математики, механики, естественных наук</p> <p><b><u>Владеть:</u></b></p> <p>1. Навыками построения и исследования математических моделей в естественных науках.</p>	<p>Путем проведения практических занятий, самостоятельной работы аспиранта</p>	<p>Защита реферата, контрольная работа, коллоквиум, письменный опрос, зачет</p>	<p><b><u>Пороговый:</u></b> неполные представления о результатах, проблемах, методах научных исследований в области математики и смежных областях</p> <p><b><u>Повышенный:</u></b> сформированные систематические представления о результатах, проблемах, методах научных исследований в области математики и смежных областях</p>
ПК-1	<p>готовность к исследо-</p>	<p><b><u>Знать.</u></b></p>	<p>Путем прове-</p>	<p>Защита ре-</p>	<p><b><u>Пороговый:</u></b> способен чётко сфор-</p>

	<p>ваниям в области дифференциальных уравнений и динамических систем</p>	<p>1. Определения основных понятий в теории управления систем дифференциальных уравнений. 2. Смысл фундаментальных теорем, схемы их доказательств, класс задач, решение которых может быть найдено методами этой теории. <b><u>Уметь.</u></b> 1. Формулировать проблему и ставить задачи для ее решения. 2. Определять методы для решения поставленных задач. 3. Анализировать полученные результаты, указать область их применения. 4. Составлять краткий и содержательный доклад о методах решения задач и полученных результатах. <b><u>Владеть:</u></b> 1. Навыками планирования, анализа, научно-познавательной деятельности.</p>	<p>дения практических занятий, самостоятельной работы аспиранта</p>	<p>ферата, контрольная работа, коллоквиум, письменный опрос, зачет</p>	<p>мулировать проблему, наметить план и предложить способы её решения. <b><u>Повышенный:</u></b> способен сам формулировать имеющуюся проблему, готов самостоятельно предложить решение поставленной проблемы.</p>
ПК-4	<p>Способность к самостоятельной постановке и решению сложных теоретических прикладных задач в теории динамических систем и оптимального управления</p>	<p><b><u>Знать.</u></b> 1. Основные методы теории управления систем дифференциальных уравнений. 2. Основные принципы построения математических моделей. 3. Классы наиболее общих проблем, исследование которых может быть выполнено методами математического моделирования.</p>	<p>Путем проведения практических занятий, самостоятельной работы аспиранта</p>	<p>Защита реферата, контрольная работа, коллоквиум, письменный опрос, зачет</p>	<p><b><u>Пороговый:</u></b> способен точно формулировать теорему, привести примеры, анализировать проблемы естествознания <b><u>Повышенный:</u></b> способен самостоятельно привести схему доказательств и область применимости теорем, к интенсивной научно-исследовательской и научно-изыскательской деятельности</p>

		<p><b><u>Уметь.</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализировать поставленную задачу,</li> <li>2. Определить главные факторы, влияющие на развитие процесса,</li> <li>3. Построить адекватную математическую модель,</li> </ol> <p><b><u>Владеть:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Навыками математического моделирования, численными методами.</li> <li>2. Навыками качественного анализа построенных математических моделей..</li> </ol>			
ПК-5	умение применять программные комплексы в изучении математических моделей, описываемых системами дифференциальных уравнений	<p><b><u>Знать:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теорию, основные принципы построения математических моделей,</li> <li>2. Класс наиболее общих проблем, исследование которых может быть выполнено методами математического моделирования, численными методами, комплексом компьютерных программ.</li> </ol> <p><b><u>Уметь:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализировать поставленную задачу.</li> <li>2. Определить главные факторы, влияющие на развитие процесса.</li> <li>3. Построить адекватную математическую модель.</li> <li>4. Написать компьютерную программу для решения поставленной</li> </ol>	Путем проведения практических занятий, самостоятельной работы аспиранта	Защита реферата, контрольная работа, коллоквиум, письменный опрос, зачет	<p><b><u>Пороговый:</u></b> способен схематично построить модель рассматриваемой задачи и определить пути ее решения с помощью программных комплексов</p> <p><b><u>Повышенный:</u></b> способен самостоятельно построить модель рассматриваемой задачи и определить и реализовать пути ее исследования с помощью программных комплексов.</p>

		<p>задачи.</p> <p><b><u>Владеть:</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Навыками математического моделирования.</li><li>2. Численными методами.</li><li>3. Навыками написания компьютерных программ для исследования достаточно общих проблем в смежных науках.</li></ol>			
--	--	---	--	--	--

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**  
**1. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ**  
**УЧЕБНОЙ РАБОТЫ**

**1.1. Объем дисциплины в зачетных единицах**

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 11,15 часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (11 часов практические занятия), 0,15 часа – мероприятия промежуточной аттестации (зачет), 60,85 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.

**1.2. Формат обучения**

Дисциплина реализуется в форме очного обучения на базе Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина.

## 2. Содержание дисциплины

структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине.	Всего (часы)	В том числе											
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы, из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы, из них							
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Мероприятия промежуточной аттестации	Всего	Выполнение заданий при подготовке к лекционным занятиям	Выполнение заданий при подготовке к семинарским занятиям	Выполнение заданий при подготовке к контрольным работам.	Работа со справочными материалами	Изучение и конспектирование основной и дополнительной литературы.	Выполнение индивидуальных домашних заданий	Подготовка реферата	Всего
<b>Тема 1</b> Задачи и методы теории оптимального управления	<b>31,85</b>		5		<b>5</b>		6		2	7,85	5	6	<b>26,85</b>
<b>Тема 2</b> Оптимальное управление в линейных системах и нелинейных системах	<b>40</b>		6		<b>6</b>		6	7	2	8	5	6	<b>34</b>
Промежуточная аттестация <u>зачет</u>	<b>0,15</b>			0,15	<b>0,15</b>								
<b>Итого</b>	<b>72</b>		<b>11</b>	<b>0,15</b>	<b>11,15</b>		<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>15,85</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>60,85</b>

## 2.1. Тематика лекционных занятий Не предусмотрены

## 2.2. Тематика практических занятий

**Тема 1.** Классические задачи оптимального управления. Понятие оптимальности. Постановка общей задачи оптимального управления. Экстремальные свойства оптимальных управлений и их синтез. Существование решений экстремальных задач и алгоритмы их поиска. Принцип оптимальности. Синтез оптимальных по быстродействию управлений с обратной связью для нелинейных систем второго порядка с одной степенью свободы. Синтез оптимального управления для случая притягивающей силы. Синтез оптимального управления для случая отталкивающей силы. примеры построения управления с обратной связью. Оптимальное управление метеорологической ракетой. Управление угловой скоростью твердого тела. Оптимальная астронавигация. Метод динамического программирования. Метод последовательных приближений для отыскания оптимальных программных движений. Метод последовательных приближений для решения задачи синтеза оптимальных управлений. Метод направленного поиска коэффициентов усиления в системах управления. Метод локальных сечений. Описание управляемых объектов с помощью дифференциальных включений. Локальные сечения. Применение к управляемым объектам. Случай постоянной области управления. Случай переменной области управления, определяемой системой равенств и неравенств

**Тема 2.** Линейные управляемые процессы. Управляемость: множество достижимости. Стабилизируемая автономная система. Весовая функция. Наблюдаемая линейная система. Управляемость и устойчивость автономных систем. Оптимальное по быстродействию управление для линейных систем. Критерий существования оптимального управления для автономных систем. Принцип Лагранжа для необходимых условий экстремума. Принцип максимума Понтрягина. Методы синтеза оптимального управления для линейных систем. Интегральный критерий качества. Оптимальное управление с интегральным критерием качества. Задача с подвижными концами и условия трансверсальности. Задача регулирования на бесконечном интервале.

Множество достижимости для нелинейных систем. Элементарные возмущения и касательный конус возмущений. Принцип максимума для нелинейных систем. Оптимальное управление при дополнительных ограничениях. Минимаксные задачи. Слабое управление. Импульсные управления. Оптимальное управление без дополнительных ограничений. Принцип максимума и условия трансверсальности как необходимые условия оптимального управления. Достаточные условия оптимального управления. Управляемость и наблюдаемость для нелинейных процессов. Устойчивость нелинейных процессов. Критерий устойчивости Ляпунова. Задача Лурье для прямого управления. Критерий устойчивости Попова. Корректность задачи оптимального управления. Синтез оптимальных управлений для некоторых нелинейных управляемых систем. Движения не-

линейных систем, определяемые краевыми условиями. Метод наискорейшего спуска. Робастная оптимизация. Задача Булгакова о максимальном отклонении и вариационный критерий абсолютной устойчивости. Гарантированное тестирование и минимаксная стабилизация. Седловая точка динамической игры и решение задач тестирования и стабилизации Максиминое тестирование точности стабилизации стохастических систем. Общий принцип максимума. Уравнение Беллмана и достаточные условия оптимальности. Принцип максимума для неавтономных систем. Оптимальные процессы с параметрами. Изопериметрическая задача и задача с закрепленным временем.

### **2.3. Тематика лабораторных занятий**

Не предусмотрены



### **3.2. Характеристика и описание заданий на самостоятельную работу аспиранта;**

**1. Коллоквиум** – форма учебного занятия, понимаемая как беседа преподавателя с учащимися с целью активизации знаний. Коллоквиум проводится после изучения раздела в форме опроса с билетами. Коллоквиум — форма проверки и оценивания знаний учащихся в системе образования.

Задачи коллоквиума: проверка и контроль полученных знаний по изучаемой теме; расширение проблематики в рамках дополнительных вопросов по данной теме; углубление знаний при помощи использования дополнительных материалов при подготовке к занятию;

Коллоквиум проводится в устной форме. Ответы оцениваются одновременно в традиционной шкале.

#### *Критерии оценки коллоквиума*

Оценка «5» - глубокое и прочное усвоение программного материала, полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы при видоизменении задания, свободно справляющиеся с поставленными задачами, знания материала, правильно обоснованные принятые решения, .

Оценка «4» - знание программного материала - грамотное изложение, без существенных неточностей в ответе на вопрос, -правильное применение теоретических знаний.

Оценка «3» - усвоение основного материала, при ответе допускаются неточности, при ответе недостаточно правильные формулировки, нарушение последовательности в изложении программного материала.

Оценка «2» - не знание программного материала, - при ответе возникают ошибки, затруднения в ответе на наводящие вопросы.

**2. Письменный опрос** – форма проверки и оценивания знаний учащихся в системе образования.

Задачи письменного опроса: входной контроль усвоения знаний, полученных аспирантом.

Ответы оцениваются в традиционной шкале.

#### *Критерии оценки письменного опроса.*

Оценка «5» - полные, последовательные грамотные и логически излагаемые ответы.

Оценка «4» - неполное, но грамотное изложение, без существенных неточностей в ответе на вопрос.

Оценка «3» в ответе допускаются неточности, нарушение последовательности в изложении программного материала.

Оценка «2» - не знание программного материала.

**3. Реферат** - написание сообщения или публичного доклада. Чаще всего это слово употребляется для определения последовательного, убедительного и краткого изложения или написания сущности какого-либо вопроса или темы научно-практического характера.

Требования к содержанию реферата.

Содержание должно быть конкретным, строго соответствовать названию темы, иметь научно-достоверные и новейшие данные, убедительные объяснения «острых» вопросов, яркие примеры и доказательства, четкую последовательность изложения – от простого и известного к сложному и неизвестному.

Реферат считается собственной работой автора и пишется в его редакции, его собственными словами и мыслями. Дословное переписывание литературных данных считается кражей или плагиаторством.

Цитаты или дословные изречения других авторов применяются только для подтверждения некоторых фактов и положений реферата. Но при этом необходима обязательная ссылка на автора. Это называется цитированием, оно допущено, но в меру. Употребление в реферате большого количества цитат называется цитатничеством. Оно уже недопустимо. Цитатничество сводит, на нет заслугу автора.

Реферат пишется популярным языком, доступным для массового чтения. Иностранные слова обязательно объясняются. Слова, смысл которых непонятен автору, для написания реферата не употребляются.

### 3.3. Примерные нормы времени на выполнение внеаудиторной самостоятельной работы аспиранта по каждому заданию;

№ семестра	№ раздела	Наименование раздела учебной дисциплины (модуля)	Виды СРС	Всего часов
4	1	Задачи и методы оптимального управления	1. Выполнение заданий при подготовке к семинарским занятиям.	6
			2. Работа со справочными материалами (словарями, энциклопедиями).	2
			3. Изучение и конспектирование основной и дополнительной литературы	7,85
			4. Выполнение индивидуальных домашних заданий	5
			5. Подготовка реферата.	6
4	2	Оптимальное управление в линейных и нелинейных системах	1. Выполнение заданий при подготовке к семинарским занятиям.	6
			2. Выполнение заданий при подготовке к контрольным работам.	7
			3. Работа со справочными материалами (словарями, энциклопедиями).	2
			4. Изучение и конспектирование основной и дополнительной литературы	8

		5. Выполнение индивидуальных домашних заданий	5
		6. Подготовка реферата	6
<b>ИТОГО в семестре</b>			<b>60,85</b>

### **3.4. Особенности самостоятельной работы аспиранта;**

Самостоятельная работа аспирантов является важной компонентой изучения и твердого усвоения учебного материала.

Самостоятельная работа включает в себя следующие виды деятельности:

1. подготовку к практическим занятиям,
2. выполнение домашних заданий,
3. подготовку к ответам на контрольные вопросы,
4. подготовку к аудиторным контрольным работам,
5. подготовку к зачету.

Теоретический материал необходимо прорабатывать к каждому практическому занятию. При этом нужно прочитать записи, установить связь материалами, разобрать основные понятия и определения.

При подготовке к практическому занятию необходимо выучить основные определения и формулировки теорем, разобрать алгоритмы и примеры решения задач, приведенные в теоретическом материале.

Домашнее задание рекомендуется выполнять сразу после практического занятия или в ближайшие дни. При его выполнении можно воспользоваться примерами решения задач, которые имеются в учебных пособиях.

### **3.5. Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы аспиранта;**

Контрольные вопросы по каждой теме делятся на два уровня. Полный перечень вопросов предоставляется аспирантам после изучения темы на лекции и практическом занятии. Как правило, полноценной подготовки к практическому занятию достаточно, чтобы успешно ответить на вопросы первого уровня. При подготовке ответов на вопросы второго уровня рекомендуется использовать материалы учебников и учебных пособий, записи, сделанные на практических занятиях, и обратиться за консультацией к преподавателю.

Для подготовки к аудиторным контрольным работам, как правило, бывает достаточно активной работы аспиранта на практических занятиях и систематического выполнения домашних заданий.

Подготовка к зачету для аспиранта, систематически прорабатывавшего теоретический материал, готовившего ответы на контрольные вопросы выполнявшего домашние задания, как правило, заключается в повторении.

### **3.6. Оценка выполнения самостоятельной работы аспиранта (критерии).**

Цели проведения самостоятельной работы:

- формирование и развитие профессиональных и общих компетенций и их элементов (знаний, умений, практического опыта) в соответствии с требованиями руководящих документов;

- формирование компетенции поиска и использования информации необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного роста;

- формирование компетенции использования информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности;

- развитие познавательных способностей и активности обучающихся: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;

- формирование самостоятельности профессионального мышления: способности к профессиональному и личностному развитию, самообразованию и самореализации;

- развитие культуры межличностного общения, взаимодействия между людьми, формирования умений работы в команде, эффективного общения с коллегами и руководством.

Критерии выполнения самостоятельной работы:

- фрагментарные представления об общей концепции и методологических вопросах теории дифференциальных уравнений, истории её формирования и развития, теоретических и практических проблемах;

- сформированные представления об основных теоретических и практических проблемах дифференциальных уравнений;

- сформированные представления об основных теоретических и практических проблемах теории дифференциальных уравнений для реализации исследований по профилю направленности подготовки;

- сформированные представления об основных теоретических и практических проблемах обработки результатов исследований по профилю направления подготовки.

#### **4. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

• Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

• Описание шкал оценивания (критериев) результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций.

1. Оценка «незачтено» ставится аспиранту, не овладевшему ни одним из элементов компетенции, т.е. обнаружившему существенные пробелы в знании основного программного материала по дисциплине, допустившему принципиальные ошибки при применении теоретических знаний, которые не

позволяют ему продолжить обучение или приступить к практической деятельности без дополнительной подготовки по данной дисциплине.

2. Оценка «зачтено» ставится аспиранту, овладевшему элементами компетенции

«знать», «уметь» и «владеть», проявившему всесторонние и глубокие знания программного материала по дисциплине, освоившему основную и дополнительную литературу, обнаружившему творческие способности в понимании, изложении и практическом использовании усвоенных знаний.

Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций

<p align="center"><b>РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ</b> по дисциплине</p>	<p align="center"><b>КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ</b> <b>РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ</b> по дисциплине и <b>ШКАЛА оценива-</b> <b>ния</b></p>		<p align="center"><b>ПРОЦЕДУРЫ</b> <b>ОЦЕНИВАНИЯ</b></p>
	Пороговый	Повышенный	
<p><b>УК-1</b> <b>Знать:</b> 1. Основные методы научно-исследовательской деятельности. 2. Современных научных достижений в области исследования систем дифференциальных уравнений. <b>Уметь:</b> 1. Выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах. 2. Критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника. 3. Генерировать новые идеи при решении профессиональных задач. <b>Владеть:</b> 1. Навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации, связанной с профессиональной деятельностью. 2. Навыками выбора методов и средств решения задач исследования.</p>	<p>Знание общих положений и основных понятий, применение методов теории управления систем дифференциальных уравнений.</p>	<p>Умение систематизировать полученные знания, поиск новых решений проблемных задач по теории управления систем дифференциальных уравнений</p>	<p>Защита электронного рефератов, коллоквиум, письменный опрос, зачет</p>
<p><b>УК-3</b> <b>Знать:</b> 1. Особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной при работе в исследовательских коллективах <b>Уметь:</b> 1. Следовать нормам принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных задач 2. Осуществлять личностный выбор в процессе работы в российских и международных исследовательских коллективах, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой, коллегами и обществом. <b>Владеть:</b> 1. Навыками анализа основных проблем междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач в российских или международных исследовательских коллективах;</p>	<p>Знание особенностей представления результатов научной деятельности в устной и письменной. Знание технологий оценки результатов коллективной деятельности по решению научных задач.</p>	<p>Знание особенностей представления результатов научной деятельности в устной и письменной. Навыки анализа основных проблем междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач. Знание тех-</p>	<p>Защита электронного рефератов, контрольная работа, коллоквиум, письменный опрос, зачет</p>

<p>2. Технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных задач, в том числе ведущихся на иностранном языке</p> <p>3. Технологиями планирования деятельности в рамках работы в российских и международных коллективах по решению научных задач</p> <p>4. Различными типами коммуникации при осуществлении работы в российских и международных коллективах по решению научных задач.</p>		<p>нологий оценки результатов коллективной деятельности по решению научных задач.</p> <p>Планирования деятельности в рамках работы по решению научных задач</p>	
<p><b><u>ОПК-1</u></b> <b><u>Знать.</u></b></p> <p>1. Наиболее важные научные результаты и проблемы современной математики и смежных областей.</p> <p>2. Современные методы исследования решений математических задач.</p> <p><b><u>Уметь.</u></b></p> <p>1. Применять основные математические методы и алгоритмы для решения стандартных задач математики</p> <p>2. Разрабатывать новые методы и алгоритмы исследования и применять их в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области математики, механики, естественных наук</p> <p><b><u>Владеть:</u></b></p> <p>1. Навыками построения и исследования математических моделей в естественных науках.</p>	<p>Неполные представления о результатах, проблемах, методах научных исследований в области математики и смежных областях</p>	<p>сформированные систематические представления о результатах, проблемах, методах научных исследований в области математики и смежных областях</p>	<p>Защита электронного рефератов, контрольная работа, коллоквиум, письменный опрос, зачет</p>
<p><b><u>ПК-1</u></b> <b><u>Знать.</u></b></p> <p>1. Определения основных понятий в области дифференциальных уравнений.</p> <p>2. Смысл фундаментальных теорем, схемы их доказательств, класс задач, решение которых может быть найдено методами этой теории.</p> <p><b><u>Уметь.</u></b></p> <p>1. Формулировать проблему и ставить задачи для ее решения.</p> <p>2. Определять методы для решения поставленных задач.</p> <p>3. Анализировать полученные результаты, указать область их применения.</p> <p>4. Составлять краткий и содержательный доклад о методах решения задач и полученных результатах.</p>	<p>Способен чётко сформулировать проблему, наметить план и предложить способы её решения.</p>	<p>Способен сам сформулировать имеющуюся проблему, готов самостоятельно предложить решение поставленной проблемы.</p>	<p>Защита электронного рефератов, контрольная работа, коллоквиум, письменный опрос, зачет</p>

<p><b><u>Владеть:</u></b> 1. Навыками планирования, анализа, научно-познавательной деятельности.</p>			
<p><b><u>ПК-4</u></b> <b><u>Знать</u></b> 1. Основные методы теории управления систем дифференциальных уравнений. 2. Основные принципы построения математических моделей. 3. Классы наиболее общих проблем, исследование которых может быть выполнено методами математического моделирования. <b><u>Уметь.</u></b> 1. Анализировать поставленную задачу, 2. Определить главные факторы, влияющие на развитие процесса, 3. Построить адекватную математическую модель, <b><u>Владеть:</u></b> 1. Навыками математического моделирования, численными методами. 2. Навыками качественного анализа построенных математических моделей.</p>	<p>Способен точно сформулировать теорему, привести примеры, анализировать проблемы естествознания</p>	<p>Способен самостоятельно привести схему доказательства и область применимости теорем, к интенсивной научно-исследовательской и научно-изыскательской деятельности</p>	<p>Защита электронного рефератов, контрольная работа, коллоквиум, письменный опрос, зачет</p>
<p><b><u>ПК-5</u></b> <b><u>Знать:</u></b> 1. Теорию, основные принципы построения математических моделей, 2. Класс наиболее общих проблем, исследование которых может быть выполнено методами математического моделирования, численными методами, комплексом компьютерных программ. <b><u>Уметь:</u></b> 1. Анализировать поставленную задачу. 2. Определить главные факторы, влияющие на развитие процесса. 3. Построить адекватную математическую модель. 4. Написать компьютерную программу для решения поставленной задачи. <b><u>Владеть:</u></b> 1. Навыками математического моделирования. 2. Численными методами. 3. Навыками написания компьютерных программ для исследования достаточно общих проблем в смежных науках.</p>	<p>Способен схематично построить модель рассматриваемой задачи и определить пути ее решения с помощью программных комплексов</p>	<p>Способен самостоятельно построить модель рассматриваемой задачи и определить и реализовать пути ее исследования с помощью программных комплексов.</p>	<p>Защита электронного рефератов, контрольная работа, коллоквиум, письменный опрос, зачет</p>

#### 4.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций

№ семестра	№ раздела	Виды контроля и аттестации (ВК, Тат, ПрАт)	Наименование раздела учебной дисциплины	Оценочные средства		
				Форма	Количество вопросов в задании	Количество независимых вариантов
4	1	а) входной контроль б) текущая аттестация	Задачи и методы теории оптимального управления	а) Письменный опрос  б) защита электронного реферата-презентации,	3  1	3  3
4	2	а) входной контроль б) текущая аттестация	Оптимальное управление в линейных и нелинейных системах	а) Письменный опрос  б) Коллоквиум,  Контрольная работа,  защита электронного реферата-презентации,	3  2  3  1	3  3  3  3
4	1,2	ПрАт	Задачи и методы теории оптимального управления Оптимальное управление в линейных и нелинейных системах	Зачет	3	10

#### 4.2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения.

Вид контроля	Форма контроля	Примеры оценочных средств
ВК	Письменный опрос	1. Сформулировать основные понятия и задачи теории оптимального управления 2. Сформулировать основные задачи 3. Выделить основные теоремы, леммы теории оптимального управления

<b>Тат</b>	Защита электронного реферата-презентации	Метод наискорейшего спуска и его применение к теории оптимального управления
	Коллоквиум	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Управляемость и устойчивость автономных систем.</li> <li>2. Методы синтеза оптимального управления для линейных систем.</li> </ol>
	Контрольная работа №1 по разделу 2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Построить линейную автономную систему, обладающую свойствами управляемости и наблюдаемости, и имеющую передаточную матричную функцию <math>Z(p) = \begin{bmatrix} \frac{1}{p^2 - 1} \\ \frac{p}{p^2 + p} \\ \frac{p}{p^2 - p} \end{bmatrix}</math></li> <li>2. Найти решение задачи Лагранжа <math>\int_0^{\pi/2} u^2 dt \rightarrow \text{extr}, \ddot{x} + x = u, x_1(0) = \dot{x}_2(0) = 0, x_1\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1.</math></li> <li>3. Найти оптимальное по быстродействию управление <math>u^*(t)</math>, соответствующую ему траекторию <math>x^*(t)</math> и время <math>T</math>, затрачиваемое на переход из состояния <math>x_1(0) = 0, x_2(0) = -4</math> в начало координат для математической модели объекта управления, описываемой системой дифференциальных уравнений <math>\begin{cases} \dot{x}_1(t) = x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) = u(t) \end{cases}</math>, <math>x = (x_1, x_2)^T,  u  \leq 1, t \in [0; T]</math></li> </ol>
	Защита электронного реферата-презентации	Проблема синтеза управления
Контрольная работа №2 по разделу 2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Позиционное управление вращающимся твердым телом: <math>I_1 \dot{\omega}_1 = (I_2 - I_3) \omega_2 \omega_3 + u_1(t)</math>  <math>I_2 \dot{\omega}_2 = (I_3 - I_1) \omega_3 \omega_1 + u_2(t)</math>, где <math>I_1, I_2, I_3</math> - главные моменты инерции, а <math>\omega_1, \omega_2, \omega_3</math> - соответствующие компоненты угловой скорости. Построить функцию Ляпунова и доказать, что система может быть переведена из любого заданного начального состояния в начало координат посредством управлений, удовлетворяющих ограничению <math> u_i(t)  \leq 1</math>.</li> <li>2. Нелинейный процесс в <math>R^n: \dot{x} = f(x, u), f \in C^1</math> в окрестности точки <math>x = u = 0</math>. Предположим что</li> </ol>	

		$f(x, u) = Ax + Bu + o(x, u)$ и $\text{rank}[B, AB, \dots, A^{n-1}B] = n$ . Докажите, что существует постоянная матрица $D$ , такая, что управление $u = Dx$ стабилизирует процесс в окрестности начала координат, т. е. что система $\dot{x} = f(x, Dx)$ является асимптотически устойчивой в окрестности начала координат.
	Защита электронного реферата-презентации	Задача Булгакова о максимальном отклонении и вариационный критерий абсолютной устойчивости
<b>ПрАт</b>	Защита электронного реферата-презентации	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные теоремы теории оптимального управления</li> <li>2. Доказательство теоремы о принципе максимума</li> <li>3. Прикладные особенности теории оптимального управления</li> </ol>

### Примерные вопросы и задания к зачету

1. Классические задачи оптимального управления.
2. Понятие оптимальности. Постановка общей задачи оптимального управления.
3. Экстремальные свойства оптимальных управлений и их синтез.
4. Принцип оптимальности.
5. Синтез оптимальных по быстродействию управлений с обратной связью для нелинейных систем второго порядка с одной степенью свободы.
6. Метод динамического программирования.
7. Метод последовательных приближений для отыскания оптимальных программных движений.
8. Метод направленного поиска коэффициентов усиления в системах управления.
9. Описание управляемых объектов с помощью дифференциальных включений.
10. Локальные сечения.
11. Линейные управляемые процессы.
12. Управляемость и устойчивость автономных систем.
13. Оптимальное по быстродействию управление для линейных систем.
14. Принцип максимума Понтрягина.
15. Методы синтеза оптимального управления для линейных систем.
16. Оптимальное управление с интегральным критерием качества.
17. Принцип максимума для нелинейных систем.
18. Управляемость и наблюдаемость для нелинейных процессов.

19. Устойчивость нелинейных процессов. Критерий устойчивости Ляпунова.
20. Критерий устойчивости Попова.
21. Движения нелинейных систем, определяемые краевыми условиями.
22. Метод наискорейшего спуска.
23. Робастная оптимизация.
24. Седловая точка динамической игры и решение задач тестирования и стабилизации.
25. Уравнение Беллмана и достаточные условия оптимальности.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература

№ п/п	Авторы, наименование, место издания и издательство, год	Семестр	Количество экземпляров	
			В библиотеке	На кафедре
1.	Ли, Э.Б., Маркус, Л. Основы теории оптимального управления [Текст] / Э.Б. Ли, Л. Маркус — М.: Наука, 1972. — 576 с.	4	1	
2.	Тихомиров, В.М., Алексеев, В.М., Фомин, С.В. Оптимальное управление [Электронный ресурс] / В.М. Тихомиров, В.М. Алексеев, С.В. Фомин – Москва : Физматлит, 2007. – 192 с. – Режим доступа: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=67593">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=67593</a> (дата обращения: 19.04.2020).	4	ЭБС	

### 5.2. Дополнительная литература

№ п/п	Авторы, наименование, место издания и издательство, год	Семестр	Количество экземпляров	
			В библиотеке	На кафедре
1.	Арутюнов, А.В., Магарил-Ильяев, Г.Г., Тихомиров, В.М. Принцип максимума Понтрягина [Текст]: учебное пособие / Г.Г. Ильяев, В.М. Тихомиров. – М. Факториал пресс, 2006. – 144 с.	4		1
2.	Болтянский, В.Г. Математические методы оптимального управления [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Г. Болтянский. – М.: Наука, 1969. – 409 с. – Режим доступа: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&amp;book_id=116170">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&amp;book_id=116170</a> (дата обращения: 19.04.2020).	4	ЭБС	1
3.	Габасов, Р., Кирилова, Ф. Качественная теория оптимальных процессов [Текст]: учебное пособие / Р. Габасов, Ф. Кирилова. – М.: Наука, 1971. – 508 с.	4	1	1
4.	Зубов, В.И. Лекции по теории управления [Текст] ]: учеб-	4	1	

	ное пособие / В.И. Зубов. – М.: Наука, 1975. – 496 с.			
5.	Красовский, Н.Н. Теория управления движением [Текст] / Н.Н. Красовский. – М.: Наука, 1968. – 476 с.	4	2	
6.	Ли, Э.Б., Маркус, Л. Основы теории оптимального управления [Текст] / Э.Б. Ли, Л. Маркус. — М.: Наука, 1972. — 574 с.	4	1	1
7.	Лутманов, С.В. Курс лекций по методам оптимизации [Текст]: учебное пособие / С.В. Лутманов. — М.: Ижевск. НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 368 с.	4		1

### 5.3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

1. East View [Электронный ресурс] : [база данных]. – Доступ к полным текстам статей научных журналов из сети РГУ имени С. А. Есенина. – Режим доступа: <https://dlib.eastview.com> (дата обращения: 15.04.2020).

2. Moodle [Электронный ресурс] : среда дистанционного обучения/ Ряз. гос. ун-т. – Рязань, [Б.г.]. – Доступ, после регистрации из сети РГУ имени С. А. Есенина, из любой точки, имеющей доступ к Интернету. – Режим доступа: <http://e-learn2.rsu.edu.ru/moodle2> (дата обращения: 19.04.2020).

3. Royal Society of Chemistry journals [Электронный ресурс] : [база данных]. – Доступ к полным текстам архива научных журналов 1841-2007 гг. из сети РГУ имени С. А. Есенина. – Режим доступа: <http://pubs.rsc.org/en/Journals?key=Tithe&value=Current> (дата обращения: 19.04.2020).

4. Труды преподавателей [Электронный ресурс]: коллекция // Электронная библиотека Научной библиотеки РГУ имени С. А. Есенина. – Доступ к полным текстам по паролю. – Режим доступа: <http://dspace.rsu.edu.ru/xmlui/handle/123456789/3> (дата обращения: 19.04.2020).

5. Университетская библиотека ONLINE [Электронный ресурс] : электронная библиотека. – Доступ к полным текстам по паролю. – Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red) (дата обращения: 19.04.2020).

6. Электронная библиотека диссертаций [Электронный ресурс] : официальный сайт/ Рос. гос. б-ка. – Москва : Рос. гос. б-ка, 2003 - .- Доступ к полным текстам из комплексного читального зала НБ РГУ имени С. А. Есенина. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru> (дата обращения: 19.04.2020).

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : научная электронная библиотека. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>, свободный (дата обращения: 19.04.2020).

2. КиберЛенинка[Электронный ресурс] : научная электронная библиотека. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/>, свободный (дата обращения: 19.04.2020).

3. EqWorld. The World of Mathematical Equations [Электронный ресурс] Международный научно-образовательный сайт. Режим доступа: <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>, свободный(дата обращения: 19.04.2020).

4. Prezentacya.ru [Электронный ресурс] : образовательный портал. – Режим доступа: <http://prezentacya.ru> , свободный (дата обращения: 19.04.2020).

5. Единое окно доступа к образовательным ресурсам [Электронный ресурс] федеральный портал. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/> , свободный (дата обращения: 19.04.2020).

6. Информационно-коммуникационные технологии в образовании [Электронный ресурс] : система федеральных образовательных порталов. – Режим доступа: <http://www.ict.edu.ru> , свободный (дата обращения: 19.04.2020).

7. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов [Электронный ресурс] // Единое окно доступа к образовательным ресурсам. – Режим доступа: <http://fcior.edu.ru> , свободный (дата обращения: 19.04.2020).

### **5.5. Перечень периодических изданий (конкретных статей)**

1. **Терехин М.Т.** Исследование проблемы локальной управляемости нелинейной системы дифференциальных уравнений. Численный метод // Известия РАЕН. Дифференциальные уравнения, 2012, №7, с.54-63.

2. **Турусикова Н.М.** Условия локальной управляемости нелинейной системы дифференциальных уравнений // Известия РАЕН. Дифференциальные уравнения, 2012, №7, с.75-83.

3. **Львова Л.Л.** О разрешимости задач управляемости нелинейных систем // Известия РАЕН. Дифференциальные уравнения. 2000, №3, С.66-72.

4. **Львова Л.Л.** Условия управляемости нелинейных систем // Известия РАЕН., 2000, № 3, С. 73–80.

5. **Розанова Н.В.** Управляемость для нелинейного абстрактного эволюционного управления // Математические заметки. 2004. Т. 76. № 4. С. 553 – 567.

**5.6. Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости)**

*Стандартный набор ПО (в компьютерных классах):*

1. Операционная система WindowsPro (договор №Tr000043844 от 22.09.15г.);
  2. Антивирус Kaspersky Endpoint Security (договор №14/03/2018-0142от 30/03/2018г.);
  3. Офисное приложение Libre Office (свободно распространяемое ПО);
  4. Архиватор 7-zip (свободно распространяемое ПО);
  5. Браузер изображений Fast Stone ImageViewer (свободно распространяемое ПО);
  6. PDF ридер Foxit Reader (свободно распространяемое ПО);
  7. Медиа проигрыватель VLC mediaplayer (свободно распространяемое ПО);
  8. Запись дисков Image Burn (свободно распространяемое ПО);
  9. DJVU браузер DjVuBrowser Plug-in (свободно распространяемое ПО);
- Стандартный набор ПО (для кафедральных ноутбуков):***
1. Антивирус Kaspersky Endpoint Security (договор №14/03/2018-0142от 30/03/2018г.);
  2. Офисное приложение Libre Office (свободно распространяемое ПО);
  3. Архиватор 7-zip (свободно распространяемое ПО);
  4. Браузер изображений Fast Stone ImageViewer (свободно распространяемое ПО);
  5. PDF ридер Foxit Reader (свободно распространяемое ПО);
  6. Медиа проигрыватель VLC mediaplayer (свободно распространяемое ПО);
  7. Запись дисков Image Burn (свободно распространяемое ПО);
  8. DJVU браузер DjVuBrowser Plug-in (свободно распространяемое ПО);

#### **5.7. Описание материально-технической базы.**

**Требования к аудиториям (помещениям, местам) для проведения занятий:** стандартно оборудованные аудитории для проведения лекционных и практических занятий – видеопроектор, экран настенный. Компьютерный класс.

**Требования к специализированному оборудованию:** отсутствует.

**Приложение 1**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО  
ДИСЦИПЛИНЕ**

**ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ОБЫКНОВЕННЫХ  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ**

**ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
(МОДУЛЮ) ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ**

№ п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части)	Наименование оценочного средства
1.	<b>Раздел 1.</b> Задачи и методы теории оптимального управления	<i>УК-1, УК-3, ОПК-1, ПК-1, ПК-4, ПК-5</i>	Зачет
2.	<b>Раздел 2.</b> Оптимальное управление в линейных системах и нелинейных системах		

**ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Индекс компетенции	Содержание компетенции (или ее части)	Элементы компетенции	Индекс элемента
УК 1	<i>способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</i>	<b>знать</b>	
		1 Основные методы научно-исследовательской деятельности.	УК1 З1
		2 Современных научных достижений в области исследования систем дифференциальных уравнений	УК1 З2
		<b>уметь</b>	
		1 Выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах.	УК1 У1
		2 Критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника.	УК1 У2
		3 Генерировать новые идеи при решении профессиональных задач.	УК1 У3
		<b>владеть</b>	
		1 Навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации, связанной с профессиональной деятельностью	УК1 В1
		2 Навыками выбора методов и средств решения задач исследования	УК1 В2

УК 3	<i>Знание особенностей представления результатов научной деятельности в устной и письменной. Знание технологий оценки результатов коллективной деятельности по решению научных задач.</i>	<b>ЗНАТЬ</b>	
		1. Особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной при работе в исследовательских коллективах	УК3 31
		<b>УМЕТЬ</b>	
		1. Следовать нормам, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных задач	УК3 У1
		2. Осуществлять личностный выбор в процессе работы в российских и международных исследовательских коллективах, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой, коллегами и обществом.	УК3 У2
		<b>ВЛАДЕТЬ</b>	
		1. Навыками анализа основных проблем междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач в российских или международных исследовательских коллективах.	УК3 В1
		2. Технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных задач, в том числе ведущихся на иностранном языке	УК3 В2
		3. Технологиями планирования деятельности в рамках работы в российских и международных коллективах по решению научных задач.	УК3 В3
4. Различными типами коммуникации при осуществлении работы в российских и международных коллективах по решению научных задач.	УК3 В4		
ОПК-1	<i>способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информа-</i>	<b>ЗНАТЬ</b>	
		1. Наиболее важные научные результаты и проблемы современной математики и смежных областей.	ОПК1 31
		2. Современные методы исследования решений математических задач.	ОПК1 32
		<b>УМЕТЬ</b>	
		1. Применять основные матема-	ОПК1 У1

	<i>ционно-коммуникационных технологий</i>	тические методы и алгоритмы для решения стандартных задач математики	
		2. Разрабатывать новые методы и алгоритмы исследования и применять их в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области математики, механики, естественных наук	ОПК1 У2
		<b>владеть</b>	
		1. Навыками построения и исследования математических моделей в естественных науках.	ОПК1 В1
<i>ПК-1</i>	<i>готовность к исследованиям в области дифференциальных уравнений и динамических систем</i>	<b>знать</b>	
		1 Определения основных понятий в области дифференциальных уравнений.	ПК1 З1
		2 Смысл фундаментальных теорем, схемы их доказательств, класс задач, решение которых может быть найдено методами этой теории.	ПК1 З2
		<b>уметь</b>	
		1 Формулировать проблему и ставить задачи для ее решения.	ПК1 У1
		2 Определять методы для решения поставленных задач.	ПК1 У2
		3 Анализировать полученные результаты, указать область их применения.	ПК1 У3
		4 Составлять краткий и содержательный доклад о методах решения задач и полученных результатах.	ПК1 У4
		<b>владеть</b>	
		1 Навыками планирования, анализа, научно-познавательной деятельности.	ПК1 В1
<i>ПК 4</i>	<i>способность к самостоятельной постановке и решению сложных теоретических и прикладных задач в теории динамических систем и оптимального управления</i>	<b>знать</b>	
		1 Основные методы качественной теории дифференциальных уравнений.	ПК4 З1
		2 Основные принципы построения математических моделей.	ПК4 З2
		3 Классы наиболее общих проблем, исследование которых может быть выполнено методами математического моделирования.	ПК4 З3
		<b>уметь</b>	
		1 Анализировать поставленную задачу	ПК4 У1
		2 Определить главные факторы,	ПК4 У2

		влияющие на развитие процесса	
		3 Построить адекватную математическую модель	ПК4 У3
		<b>владеть</b>	
		1 Навыками математического моделирования, численными методами	ПК4 В1
		2 Навыками качественного анализа построенных математических моделей	ПК4 В2
ПК-5	<i>Способен схематично построить модель рассматриваемой задачи и определить пути ее решения с помощью программных комплексов</i>	<b>знать</b>	
		1.Теорию, основные принципы построения математических моделей,	ПК5 З1
		2.Класс наиболее общих проблем, исследование которых может быть выполнено методами математического моделирования, численными методами, комплексом компьютерных программ	ПК5 З2
		<b>уметь</b>	
		1.Анализировать поставленную задачу.	ПК5 У1
		2.Определить главные факторы, влияющие на развитие процесса.	ПК5 У2
		3.Построить адекватную математическую модель.	ПК5 У3
		4.Написать компьютерную программу для решения поставленной задачи	ПК5 У4
		<b>владеть</b>	
		1.Навыками математического моделирования.	ПК5 В1
		2.Численными методами.	ПК5 В2
3.Навыками написания компьютерных программ для исследования достаточно общих проблем в смежных науках	ПК5 В3		

КОМПЛЕКТ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ (ЗАЧЕТ)

№	*Содержание оценочного средства	Индекс оцениваемой компетенции и ее элементов
1.	Классические задачи оптимального управления.	УК1 32, У2, В1 ОПК1 31, У1, В1
2.	Понятие оптимальности. Постановка общей задачи оптимального управления.	ПК4 31, У1, В1 ПК5 32, У1, В2
3.	Экстремальные свойства оптимальных управлений и их синтез.	ПК1 31, У2, В1 ПК4 32, У3, В2
4.	Принцип оптимальности.	УК3 31, У2, В3 ОПК1 31, У2, В1
5.	Синтез оптимальных по быстродействию управлений с обратной связью для нелинейных систем второго порядка с одной степенью свободы.	УК3 31, У1, В1 ПК5 32, У1, В2
6.	Метод динамического программирования.	УК1 32, У2, В1 ОПК1 31, У1, В1
7.	Метод последовательных приближений для отыскания оптимальных программных движений.	ПК4 33, У2, В1 ПК5 31, У3, В3
8.	Метод направленного поиска коэффициентов усиления в системах управления.	ПК1 32, У1, В1 ПК4 31, У1, В1
9.	Описание управляемых объектов с помощью дифференциальных включений.	УК3 31, У2, В4 ОПК1 31, У2, В1
10.	Локальные сечения.	УК3 31, У1, В2 ПК5 31, У4, В2
11.	Линейные управляемые процессы.	УК1 32, У1, В2 ОПК1 31, У2, В1
12.	Управляемость и устойчивость автономных систем.	ПК4 33, У2, В1 ПК5 32, У3, В3
13.	Оптимальное по быстродействию управление для линейных систем.	ПК1 31, У3, В1 ПК4 33, У2, В1
14.	Принцип максимума Понтрягина.	УК3 31, У1, В2 ОПК1 32, У2, В1
15.	Методы синтеза оптимального управления для линейных систем.	УК3 31, У1, В2 ПК5 32, У4, В2
16.	Оптимальное управление с интегральным критерием качества.	УК1 31, У3, В1 ОПК1 31, У1, В1
17.	Принцип максимума для нелинейных систем.	ПК4 33, У2, В1 ПК5 32, У2, В1
18.	Управляемость и наблюдаемость для нели-	ПК1 31, У4, В1

	нейных процессов.	ПК4 33, У2, В1
19.	Устойчивость нелинейных процессов. Критерий устойчивости Ляпунова.	УК3 31, У1, В2 ОПК1 32, У1, В1
20.	Критерий устойчивости Попова.	УК3 31, У1, В2 ПК5 31, У4, В2
21.	Движения нелинейных систем, определяемые краевыми условиями.	УК1 32, У2, В1 ОПК1 31, У1, В1
22.	Метод наискорейшего спуска.	ПК4 33, У2, В1 ПК5 32, У3, В3
23.	Робастная оптимизация.	ПК1 31, У2, В1 ПК4 33, У2, В1
24.	Седловая точка динамической игры и решение задач тестирования и стабилизации.	УК3 31, У1, В2 ОПК1 32, У2, В1
25.	Уравнение Беллмана и достаточные условия оптимальности.	УК3 31, У1, В1 ПК5 32, У1, В2

#### ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ (Шкалы оценивания)

Результаты выполнения обучающимся заданий на зачете оцениваются по шкале «зачтено» - «не зачтено», на экзамене - по пятибалльной шкале (*выбрать необходимое*).

В основе оценивания лежат критерии порогового и повышенного уровня характеристик компетенций или их составляющих частей, формируемых на учебных занятиях по дисциплине.

**«Зачтено»** - соответствует пороговому уровню и выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, демонстрирует недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

**«Не зачтено»** - выставляется обучающемуся, который не достигает порогового уровня, демонстрирует непонимание проблемы, не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.