

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

«Утверждаю»

Декан факультета ВМК МГУ
имени М.В. Ломоносова



Е.И. Моисеев

« » _____ 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Оптимальное управление волновыми процессами»

Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

Направление подготовки – 01.06.01 «Математика и механика»

Направленность (профиль) – «Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление»
(01.01.02)

2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Оптимальное управление волновыми процессами

2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ

Направление 01.06.01 «Математика и механика». Направленность (профиль) «Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление» (01.01.02).

4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина является обязательной для освоения во 2-м семестре обучения.

5. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
Владение современными методами построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также методами разработки и реализации алгоритмов их решения на основе фундаментальных знаний в области математики и информатики (ПК-1)	З1 (ПК-1) Знать: современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения У1 (ПК-1) Уметь: применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения В1 (ПК-1) Владеть: навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении

	естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения
Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1)	<p>З1(ОПК-1) ЗНАТЬ: современные методы исследования и информационно-коммуникационных технологий в соответствующей профессиональной области</p> <p>У1(ОПК-1) УМЕТЬ: уметь самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</p>
Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1)	<p>У2 (УК-1)УМЕТЬ: при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений</p> <p>В2 (УК-1)ВЛАДЕТЬ: навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</p>

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в Приложении.

6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов.

40 часов составляет контактная работа с преподавателем – 24 часа занятий лекционного типа, 0 часов занятий семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 0 часов индивидуальных консультаций, 12 часов мероприятий текущего контроля успеваемости, 2 часа групповых консультаций, 2 часа мероприятий промежуточной аттестации.

68 часов составляет самостоятельная работа аспиранта.

7. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учащиеся должны владеть знаниями по линейной алгебре, математическому анализу, обыкновенным дифференциальным уравнениям, теории уравнений в частных производных, уравнений математической физики, соответствующим основным образовательным программам бакалавриата по укрупненным группам направлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика» или 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки».

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Процесс обучения состоит из обсуждения теории, студенты регулярно делают доклады по изученным самостоятельно научным статьям. В конце семестра проводится устный экзамен.

9. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В курсе изучаются классические и модифицированные задачи граничного управления волновыми процессами. Изучены математические модели физических процессов, которые могут быть описаны с помощью уравнений гиперболического типа, для них ставятся задачи граничного управления различного типа. Систематизируются сведения из курса уравнений математической физики в части постановки и разрешимости краевых и начально-краевых задач для уравнений гиперболического типа, а также свойств их решений. Рассматриваются различные методы построения точных решений начально-краевых задач. Далее ставится вопрос о постановке и методах решения задач оптимального граничного управления для колебательных систем.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа обучающегося, часы			
		из них					из них			
		Занятия лекционного	Занятия семинарского	Групповые	Индивидуальные	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего

						успеваемости (коллоквиумы, практические контрольные занятия и др)*				
Тема 1. Различные постановки задач управления колебательными процессами. Общая постановка задач граничного управления колебаниями струны и мембраны, виды граничных условий, типы управления, начальных и финальных условий. Способы постановки задач оптимального граничного управления.	12	4	-	-	-	2	6	6	-	6
Тема 2. Обобщенное и слабое решение начально-краевых задач. Начально-краевая задача для волнового уравнения, способы задания её обобщённого решения. Функциональные пространства обобщенных решений. Методы построения обобщенных решений.	12	4	-	-	-	2	6	6	-	6
Тема 3. Управляемость колебательного процесса.	12	4	-	-	-	2	6	6	-	6

Примеры задач, для которые невозможно найти граничное управление. Теоремы о необходимых и достаточных условиях существования и единственности решения задачи граничного управления колебательными процессами.										
Тема 4. Нелокальные задачи граничного управления. Задачи граничного управления с модельными нелокальными граничными условиями, методы их исследования и качественные свойства решений.	12	4	-	-	-	2	6	6	-	6
Тема 5. Оптимизация граничного управления. Понятие функционала граничной энергии, условий связи. Методы нахождения условий связи и общая схема решения задач оптимального управления.	12	4	-	-	-	2	6	6	-	6
Тема 6. Задачи граничного управления с граничными условиями типа торможения. Моделирование среды, создающей торможение для колебательного процесса. Особенность решения	14	4	-	2	-	2	6	6	-	6

начально-краевых задач с граничными условиями, содержащими производную. Наклонную Современное приложения..											
7. Промежуточная аттестация – экзамен	34	2					32				
Итого	108	40					68				

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы, подготовки к текущему контролю и промежуточной аттестации.

Литература для самостоятельной работы студентов в соответствии с тематическим планом .

Тема 1. «Различные постановки задач управления колебательными процессами» [1, 2, 4].

Тема 2. «Обобщенное и слабое решение начально-краевых задач» [3, 4, 6].

Тема 3. «Управляемость колебательного процесса» [4, 5].

Тема 4. «Нелокальные задачи граничного управления» [8-10].

Тема 5. «Оптимизация граничного управления» [1, 7].

Тема 6. «Задачи граничного управления с граничными условиями типа торможения» [11, 12].

11. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная литература

1. Лионс Ж.-Л. Оптимальное управление системами, описываемыми уравнениями с частными производными. Москва: Мир, 1972. — 416 с.
2. Тихонов А.Н. Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977. — 735 с.: ил. (и другие издания).
3. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1981. — 512 с.: ил.
4. Ильин В. А., Моисеев Е. И. Оптимизация граничных управлений колебаниями струны // Успехи математических наук. — 2005. — Т. 60, № 6. — С. 89–114.
5. Ильин В.А., Тихомиров В.В. Волновое уравнение с граничным управлением на двух концах и задача о полном успокоении колебательного процесса // Дифференциальные уравнения. — 1999. — Т. 35, № 5. — С. 692–704.
6. Ильин В.А., Моисеев Е.И. О единственности решения смешанной задачи для волнового уравнения с нелокальными граничными условиями // Дифференциальные уравнения. — 2000. — Т. 36, № 5. — С. 656–661.
7. Ильин В. А. Граничное управление процессом колебаний на двух концах в терминах обобщенного решения волнового уравнения с конечной энергией // Дифференциальные уравнения. — 2000. — Т. 36, № 11. — С. 1513–1528.
8. Ильин В. А. Граничное управление на одном конце струны при наличии нелокального граничного условия одного из четырех типов и его оптимизация // Дифференциальные уравнения. — 2008. — Т. 44, № 11. — С. 1487–1498.
9. Ильин В. А. Оптимизация граничного управления на одном конце струны при наличии модельного нелокального условия // Автоматика и телемеханика. — 2009. — № 4. — С. 6–18.
10. Холомеева А. А. Оптимальное граничное управление колебаниями струны с модельным нелокальным граничным условием одного из двух типов // Доклады Академии наук. — 2011. — Т. 437, № 2. — С. 164–167.
11. Моисеев Е. И., Холомеева А. А. Об одной задаче оптимального граничного управления с динамическим граничным условием // Дифференциальные уравнения. — 2013. — Т. 49, № 5. — С. 667–671.
12. A. Smyshlyaev and M. Krstic, “Boundary control of an anti-stable wave equation with anti-damping on the uncontrolled boundary,” Systems & Control Letters, vol. 58, pp. 617-623, 2009.

Дополнительная литература

1. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1963 г.
2. Понтрягин Л.С. Принцип максимума в оптимальном управлении. М.: Фонд математического образования и просвещения. 1998.
3. Акуленко Л.Д. Асимптотические методы оптимального управления. М.: Наука, 1987.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://elibrary.ru>

2. <https://istina.msu.ru/>

Информационные технологии, используемые в процессе обучения

1. Программное обеспечение для подготовки слайдов лекций MS PowerPoint
2. Программное обеспечение для создания и просмотра pdf-документов Adobe Reader
3. Издательская система LaTeX.

Материально-техническая база

Для преподавания дисциплины требуется класс, оборудованный маркерной или меловой доской.

12. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Русский

13. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛИ

Акад. РАН Моисеев Евгений Иванович, доцент, к.ф.-м.н. Холмеева Анна Андреевна

**ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«Оптимальное управление волновыми процессами»**

Средства для оценивания планируемых результатов обучения, критерии и показатели оценивания приведены ниже.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) <i>(критерии и показатели берутся из соответствующих карт компетенций, при этом пользуются либо традиционной системой оценивания, либо БРС)</i>					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
	Неудовлетворительно	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично	
ЗНАТЬ: современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения З1 (ПК-1)	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения	В целом сформированные, но неполные знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения	Сформированные систематические знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения	Устный экзаментест
УМЕТЬ:	Отсутствие умений	Фрагментарные	В целом	Успешное, но	Сформированное	Устный экзамен

<p>применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения У1 (ПК-1)</p>		<p>умения применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>успешное, но не систематическое умение применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>содержащее отдельные пробелы умение применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>умение применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	
<p>ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных</p>	<p>Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также</p>	<p>Сформированное владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>Устный экзамен</p>

В1 (ПК-1)			методов разработки и реализации алгоритмов их решения	современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения		
УМЕТЬ: при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений У2 (УК-1)	Отсутствие умений	Частично освоенное умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации и исходя из наличных ресурсов и ограничений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации и исходя из наличных ресурсов и ограничений	Сформированное умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений	доклад на научном семинаре
ВЛАДЕТЬ: навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач.	В целом успешное, но не систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов	Успешное и систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач.	доклад на научном семинаре

областях В2 (УК-1)			исследовательских и практических задач.	деятельности по решению исследовательских и практических задач.		
УМЕТЬ: самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий У1 (ОПК-1)	Отсутствие умений	Частично освоенное умение самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но не систематическое умение самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	Успешное и систематическое умение самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	доклад на научном семинаре
ЗНАТЬ: современные методы исследования и информационно-коммуникационных технологий в соответствующей профессиональной области З1(ОПК-1)	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления современных методах исследования и информационно-коммуникационных технологий в соответствующей профессиональной	В целом сформированные, но неполные знания о современных методах исследования и информационно-коммуникационных технологий в	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных методах исследования и информационно-коммуникационных технологий в	Сформированные систематические знания о современных методах исследования и информационно-коммуникационных технологий в соответствующей	доклад на научном семинаре

		области	соответствующей профессиональной области	соответствующей профессиональной области	профессиональной области	
--	--	---------	--	--	--------------------------	--

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Список вопросов для устного экзамена.

1. Общая постановка задач граничного управления колебаниями струны, виды граничных условий, типы управления, начальных и финальных условий.
2. Начально-краевая задача для волнового уравнения, её обобщённое решение. Схема построения обобщенного решения.
3. Необходимые и достаточные условия управляемости системы на примере какой-либо задачи граничного управления.
4. Единственность решения начально-краевой задачи с нелокальными граничными условиями.
5. Понятие оптимального граничного управления колебаниями струны, схема решения задачи оптимизации на примере какой-либо задачи.
6. Задача оптимизации граничного управления, условия связи. Схема решения на примере одной из задач граничного управления.
7. Нелокальные задачи граничного управления. Единственность обобщенных решений соответствующих начально-краевых задач.
8. Оптимизация граничного управления при наличии модельных нелокальных граничных условий.
9. Задачи граничного управления при наличии наклонной производной в граничном условии.

Материалы для мероприятий текущего контроля.

Мероприятия текущего контроля реализуются в виде устных докладов, которые должен сделать каждый студент в течение семестра. Доклад заключается в подобном изложении решения какой-либо конкретной задачи из теории граничного управления колебательными процессами с точки зрения текущей темы, раскрывая её на более подробном уровне.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Особенности организации процесса обучения

Для эффективного освоения курса рекомендуется перед каждым занятием привести в порядок конспекты лекций. После каждого занятия рекомендуется найти и прочитать основную дополнительную литературу по теме лекции и прочитать свои конспекты.

Система контроля и оценивания

Окончательная оценка определяется исходя из оценки устного ответа студента, при этом отсутствие удовлетворительного доклада в течение семестра может понизить оценку на балл, а отличный доклад и работа в течение семестра может улучшить оценку студента не более, чем на один балл.

Структура и график контрольных мероприятий

Каждый студент делает доклад в течение семестра, устный экзамен в конце семестра.