

Федеральное агентство научных организаций Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук
(ИПМех РАН)**

«Утверждаю»
Директор ИПМех РАН
Д.ф.-м.н.
С.Е. Якуш



«28» сентября 2018 г.

**Рабочая программа учебной дисциплины (РПУД)
«Прямые и обратные задачи колебания стержней с трещинами»**

**Направление подготовки 01.06.01 Математика и механика
Специальность 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела**

**Форма подготовки (очная)
Отдел аспирантуры ИПМех РАН**

Курс 1

Всего 108 часов, всего зачетных единиц – 3

Аудиторных часов – 54, в том числе:
лекции – 54 часа

Самостоятельная работа – 36 часов

Подготовка к экзамену – 18 часов

Формы аттестации:

Семестр	Форма контроля	Часы
1	<i>Прием самостоятельных работ</i>	36
2	<i>Экзамен</i>	18

Рабочая программа составлена в соответствии с Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки России) от 30 июля 2014 г. № 866 "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)".

Составитель: д.ф.-м.н. Шифрин Е.И.

Заведующий отделом аспирантуры: Щелчкова И.Н.

1. Аннотация

Дисциплина «Прямые и обратные задачи колебания стержней с трещинами» предназначена для аспирантов, обучающихся по образовательной программе 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела, и входит в вариативную часть учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика, учебный план подготовки аспирантов по специальности 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела.

2. Цели и задачи

Цель дисциплины: изучение специальных вопросов колебаний упругих тел, знакомство с понятиями и методами решения прямых и обратных задач математической физики, знакомство с прямыми и обратными задачами Штурма-Лиувилля, применение полученных знаний к задачам неразрушающего контроля.

Задачи дисциплины:

- приобретение теоретических знаний в области решения обратных спектральных задач для обыкновенных дифференциальных операторов;
- освоение базовых навыков использования аппарата теории обобщенных функций для решения прямых и обратных задач для обыкновенных дифференциальных операторов с сингулярными коэффициентами;
- изучение методов моделирования трещин и других локализованных повреждений в стержнях;
- изучение оптимизационных методов для решения обратных задач.

3. Место дисциплины

3.1. Место дисциплины в структуре образовательной программы аспирантуры

Дисциплина «Прямые и обратные задачи колебания стержней с трещинами» включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативным частям программы подготовки аспирантов по направлению 01.06.01, в том числе направленные на подготовку к сдаче кандидатского экзамена.

3.2. Дисциплина базируется на дисциплинах:

1. Теория упругости
2. Механика разрушения
3. Обыкновенные дифференциальные уравнения
4. Уравнения математической физики

3.3. Дисциплина предшествует изучению дисциплин:

-

4. Результаты обучения

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

Знать:

- методы моделирования трещин в стержнях при продольных и поперечных колебаниях;
- методы определения собственных частот колебаний стержня с трещинами при различных типах закрепления его концов;
- постановки обратных спектральных задач для стержней с трещинами и методы их решения;
- методы оптимизации, используемые при решении обратных спектральных задач.

Уметь:

- применять на практике математический аппарат теории обобщенных функций для решения прямых и обратных задач для обыкновенных дифференциальных операторов с сингулярными коэффициентами;
- решать задачи определения собственных частот при продольных и поперечных колебаниях стержня с множеством трещин при различных краевых условиях;
- ставить и решать минимизационные задачи для различных обратных задач математической физики;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и методики неразрушающего контроля.

Владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования механических задач;
- навыками решения типовых задач и задач повышенной трудности теоретического и экспериментального плана с использованием методов математического анализа, функционального анализа, математической физики и теории некорректных задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных обратных задач механики деформируемого тела.

Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций аспиранта:

Универсальные компетенции:

- 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
- УК–3. Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач
- УК–5. Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития

Общепрофессиональные компетенции:

- ОПК–1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
- ОПК–2. Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования

Профессиональные компетенции:

- ПК–5. Способность применять аналитические, вычислительные и системно-аналитические методы для решения прикладных задач неразрушающего контроля;
- ПК–6. Способность самостоятельно применять методы механики деформируемого твердого тела и вычислительной математики, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования к постановке и решению обратных задач механики;
- ПК–7. Умение использовать системный подход к исследованию технических систем и выработке стратегии научной деятельности в процессе реализации научных и технологических инноваций.
- ПК–8. Способность использовать знания в области математики и механики деформируемого твердого тела для дальнейшего освоения дисциплин в соответствии с профилем подготовки.

5. Темы и Разделы

Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам и разделам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий:

№	Темы дисциплины	Семестр <i>(№ семестра)</i>	Лекции <i>(часы)</i>
1	Продольные и поперечные колебания стержней с поперечными трещинами	2	4
2	Элементы теории обобщенных функций	2	4
3	Методы определения собственных частот колебаний стержней с трещинами	2	4
4	Постановка обратной задачи идентификации трещин по собственным частотам. Случай малых трещин.	2	4
5	Обратная задача Штурма-Лиувилля.	2	4
6	Идентификация конечного числа трещин в стержне по двум спектрам, отвечающим продольным колебаниям.	2	4
7	Идентификация конечного числа трещин в стержне по собственным частотам, отвечающим поперечным колебаниям.	2	6
8	Применение оптимизационных методов к решению обратных спектральных задач	2	6
	Итого (часов)	36	36

Разделы:

1. ***Продольные и поперечные колебания стержней с поперечными трещинами.***
 - 1.1. Моделирование поперечных трещин и других локализованных повреждений в стержне пружинами, работающими на растяжение – сжатие при продольных колебаниях и на поворот при поперечных колебаниях.
 - 1.2. Различные типы краевых условий на концах стержня.
 - 1.3. Уравнения продольных и поперечных колебаний стержня с конечным числом трещин.
 - 1.4. Задача определения собственных частот колебаний.
2. ***Элементы теории обобщенных функций.***
 - 2.1. Пространство основных функций.
 - 2.2. Пространство обобщенных функций. Операции над обобщенными функциями.
 - 2.3. Дифференцирование обобщенных функций.
 - 2.4. Функция Хевисайда. Дельта-функция. Свойства дельта-функции.
3. ***Методы определения собственных частот колебаний стержней с трещинами.***
 - 3.1. Задача определения собственных частот продольных колебаний стержня с конечным числом трещин при различных условиях закрепления концов.
 - 3.2. Применение обобщенных функций к решению задачи определения собственных частот продольных колебаний стержня.
 - 3.3. Задача определения собственных частот поперечных колебаний стержня с конечным числом трещин при различных условиях закрепления концов.
 - 3.4. Применение обобщенных функций к решению задачи определения собственных частот поперечных колебаний стержня..
4. ***Постановка обратной задачи идентификации трещин по собственным частотам. Случай малых трещин.***
 - 4.1. Вывод уравнений определения параметров трещин в случае продольных и поперечных колебаний стержня с трещинами.
 - 4.2. Асимптотика полученных уравнений в случае малых трещин.
 - 4.3. Решение асимптотических уравнений для некоторых краевых условий.
5. ***Обратная задача Штурма-Лиувилля.***
 - 5.1. Постановка обратной задачи Штурма-Лиувилля.
 - 5.2. Функция Вейля..
 - 5.3. Метод М.Г. Крейна.
6. ***Идентификация конечного числа трещин в стержне по двум спектрам, отвечающим продольным колебаниям***
 - 6.1. Сведение задачи идентификации трещин в стержне по собственным частотам продольных колебаний к обратной задаче Штурма-Лиувилля. Случай стержня постоянного сечения.
 - 6.2. Сведение задачи идентификации трещин в стержне по собственным частотам продольных колебаний к обратной задаче Штурма-Лиувилля. Случай стержня переменного сечения.
 - 6.3. Применение метода М.Г. Крейна к решению задачи идентификации трещин.
7. ***Идентификация конечного числа трещин в стержне по собственным частотам, отвечающим поперечным колебаниям.***
 - 7.1. Сведение задачи идентификации трещин в стержне по собственным частотам поперечных колебаний к обратной спектральной задаче для обыкновенного дифференциального уравнения четвертого порядка.
 - 7.2. Метод V. Barcilon решения обратной спектральной задачи для дифференциального уравнения четвертого порядка.
 - 7.3. Идентификация трещин по трем спектрам, отвечающим поперечным колебаниям стержня с помощью метода V. Barcilon.
8. ***Применение оптимизационных методов к решению обратных спектральных задач***

- 8.1. Сведение обратной спектральной задачи к оптимизационной.
- 8.2. Метод Левенберга-Марквардта.
- 8.3. Выражение производной от собственного числа в случае симметричной матрицы, зависящей от параметра, через собственный вектор и производную матрицы.

№	Темы самостоятельных работ	Семестр (№ семестра)	Отведенное время (часы)
1	Разработка компьютерной программы, устанавливающей соотношения между размерами трещин различного типа и податливостями соответствующих им пружин. Случай продольных колебаний.	2	6
2	Разработка компьютерной программы, устанавливающей соотношения между размерами трещин различного типа и податливостями соответствующих им пружин. Случай поперечных колебаний.	2	6
3	Разработка программы определения собственных частот продольных колебаний стержня с конечным числом трещин	2	8
4	Разработка программы определения собственных частот поперечных колебаний стержня с конечным числом трещин	2	8
5	Разработка программы идентификации малых трещин по собственным частотам продольных колебаний стержня	2	8
	Итого (часов)	36	36

6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

- Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, интерактивная доска).
- Необходимое программное обеспечение: программный комплекс *MATLAB*.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение

7.1. Основная литература:

1. Глэдвелл Г.М.Л. Обратные задачи теории колебаний. М.- Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». Институт компьютерных исследований. 2008. 608 с.
2. Гельфанд И.М., Шилов Г.Е. Обобщенные функции и действия над ними. М., Гос. Изд-во физико-математической литературы. 1959. 470 с.
3. Левитан Б.М. Обратные задачи Штурма-Лиувилля. М., Наука. 1984. 240 с.
4. Левин Б.Я. Распределение корней целых функций. М., ГИТТЛ. 1956. 632 с.
5. Ахиезер Н.И. Классическая проблема моментов. М., Гос. Изд-во физико-математической литературы. 1961. 314 с.

7.2. Дополнительная литература:

1. Dimarogonas A.D. Vibration of cracked structures: a state of the art review // Engineering Fracture Mechanics. 1996. V. 55. P. 831-857.
2. Morassi A. Identification of a crack in a rod based on changes in a pair of natural frequencies // Journal of Sound and Vibration. 2001. V. 242. P. 577-596.
3. Rubio L., Fernandez-Saez J., Morassi A. Identification of two cracks in a rod by minimal resonant and antiresonant frequency data // Mechanical Systems and Signal Processing. 2015. V. 60-61. P. 1-13.
4. Rubio L., Fernandez-Saez J., Morassi A. The full nonlinear crack detection problem in uniform vibrating rods // Journal of Sound and Vibration. 2015. V. 339. P. 99-111.
5. Rubio L., Fernandez-Saez J., Morassi A. Crack identification in non-uniform rods by two frequency data // International Journal of Solids and Structures. 2015. V. 75. P. 61-80.
6. Beals R., Sattinger D.H., Szmigielski J. The string density problem and the Camassa-Holm equation // Phil. Trns. R. Soc. A. 2007. V. 365. P. 2299-2312.
7. Shifrin, E.I., Ruotolo, R. Natural frequencies of a beam with an arbitrary number of cracks // Journal of Sound and Vibration. 1999. V. 222. P. 409-423.
8. Shifrin E.I. Identification of a finite number of small cracks in a rod using natural frequencies // Mechanical Systems and Signal Processing. 2016. V. 70-71. P. 613-624.
9. Barcilon V. Inverse problem for the vibrating beam in the free-clamped configuration // Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. 1982. V. 304. P. 211-251.
10. Shifrin E.I. Inverse spectral problem for a non-uniform rod with multiple cracks // Mechanical Systems and Signal Processing. 2017. V. 96. P. 348-365.

7.3. Учебно-методическая литература:

—

7.4. Перечень ресурсов сети интернет:

1. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
2. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
3. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/> – электронная библиотека портала Eqworld.

9. Методические указания

Успешное освоение курса требует большой самостоятельной работы аспиранта. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы аспиранта над темой.

Самостоятельная работа, помимо выполнения приведенных выше заданий, включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе);

Руководство и проверка самостоятельной работы аспиранта осуществляется путем проверки выполненных заданий и индивидуальных консультаций.

Успешность выполнения заданий по самостоятельной работе является показателем владения материалом.

10. Фонд оценочных средств

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Порядок проведения устного экзамена:

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена при подготовке ответов на билеты обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами лекций, семинаров и любой другой литературой.

Во время проведения экзамена при ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины, он не может пользоваться конспектами лекций и семинаров и любой другой литературой.