

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
функционального анализа  
и операторных уравнений

 Каменский М.И.  
подпись, расшифровка подписи  
26.06.2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ОД.5 Математические модели неидеального реле и некоторых систем  
релейного управления

- 1. Шифр и наименование направления подготовки / специальности:** 02.04.01 математика и компьютерные науки.
- 2. Профиль подготовки / специализации:** математическое и компьютерное моделирование.
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** магистр
- 4. Форма образования:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** функционального анализа и операторных уравнений
- 6. Исполнители программы:** Прядко Ирина Николаевна, к.ф.-м.н., математический факультет, кафедра функционального анализа и операторных уравнений, [pryadko\\_irina@mail.ru](mailto:pryadko_irina@mail.ru)
- 7. Рекомендована:** НМС математического факультета протокол № 0500-07 от 03.07.18
- 8. Учебный год:** 2018-2019 **Семестр(ы):** первый

**9. Цели и задачи учебной дисциплины:** целью курса является изучение некоторых математических моделей неидеального реле и систем релейного управления. Задачами курса являются:

- 1) построение моделей некоторых систем релейного управления;
- 2) анализ построенных моделей.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** дисциплина относится к вариативной части и является обязательной.

Основные дисциплины и их разделы, необходимые для усвоения курса

«Математические модели неидеального реле и некоторых систем релейного управления»:

- дифференциальные уравнения;
- математический анализ.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):**

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОК-3	Готовность к саморазвитию, самореализацию, использованию творческого потенциала	<p>знать: алгоритм научного поиска, характеристику основных элементов научной работы</p> <p>уметь: осуществлять этапы поиска авторского решения</p> <p>владеть: навыками творческого решения задачи</p>
ОПК-3	готовность самостоятельно создавать прикладные программные средства на основе современных информационных технологий и сетевых ресурсов	<p>знать: существующие в настоящее время прикладные математические пакеты</p> <p>уметь: анализировать программные средства; самостоятельно создавать прикладные программные средства на основе современных информационных технологий и сетевых ресурсов;</p> <p>Владеть: методами и приемами создания прикладных Программных средств для исследования систем релейного управления</p>
ПК-4	способность публично представлять собственные и известные результаты	<p>знать: в достаточном объеме сведения об изучаемых объектах</p> <p>уметь: строить математические модели систем релейного управления и излагать результаты</p> <p>владеть: навыками дискуссии, способностью публично представлять собственные и известные научные результаты</p>

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 2/72.**

**13. Виды учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Всего	По семестрам
		сем. 1
Аудиторные занятия	32	32
в том числе: лекции	0	0
Практические	0	0
Лабораторные	32	32
Самостоятельная работа	40	40
Форма промежуточной аттестации	зачет, 1 контр. работа	зачет, 1 контр. работа
Итого:	72	72

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
<b>2. Практические занятия</b>		
<b>3. Лабораторные работы</b>		
3.1	Уравнения с нелинейным дифференциалом	Уравнения с нелинейным дифференциалом как средство моделирования гистерезисных элементов. Связь с ОДУ. Локально явные уравнения. Определения и свойства.
3.2	Неидеальное реле.	Описание неидеального реле. Различные модели, свойства. Гладкие модели реле и их реализация в прикладных программах. Работа с прикладными пакетами
3.3	Замкнутые системы с реле	Теоремы о замкнутой системе с реле. Построение и исследование математических моделей электрических цепей. Численные эксперименты в прикладных программах.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
	Уравнения с нелинейным дифференциалом.		6		16	22
			10		16	26
			12		12	24
	Итого:		28		44	72

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Работа с текстом конспекта лекции, изучение рекомендованной литературы, систематическая подготовка к практическим занятиям, выполнение индивидуальных.

### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Красносельский М. А. Системы с гистерезисом / Красносельский М.А., Покровский А.В. — М. : Наука, 1983. — 271 с.
2.	Прядко И.Н. О графической метрике на множестве функций / И.Н. Прядко, Б.Н. Садовский // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Физика. Математика. — Воронеж, 2008. — № 1. - С. 261-263

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3.	Садовский Б.Н. О квазипотоках / Б.Н. Садовский // Тез. докл. конф, Воронеж, 26-29 апреля 1995 г. – Воронеж: ВГУ, 1995. –С.
4.	Kloeden P.E. Quasi-flows and equations with nonlinear differentials / P.E. Kloeden, B.N. Sadovsky, I.E. Vasilyeva // Nonlinear Anal.Theory, Meth. and Appl. – 2002. – 51 – P. 1143-1158

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
5.	<a href="http://mi.mathnet.ru/at1644">http://mi.mathnet.ru/at1644</a> - Прядко И.Н. О локально явных моделях некоторых негладких систем / И.Н. Прядко, Б.Н. Садовский // Автомат. и телемех.– 2004. - №10. – С. 40-50
6.	<a href="http://mi.mathnet.ru/at1101">http://mi.mathnet.ru/at1101</a> - Нгуен Тхи Хиен. Гладкая модель реле с гистерезисом / Нгуен Тхи Хиен, Б.Н. Садовский // Автом. И телемех. 2010. № 11. С.100-111
7.	<a href="http://bsadovskiy.ru/">http://bsadovskiy.ru/</a>

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	Красносельский М. А. Системы с гистерезисом / Красносельский М.А., Покровский А.В. — М. : Наука, 1983 .— 271 с.
2.	<a href="http://mi.mathnet.ru/at1644">http://mi.mathnet.ru/at1644</a> - Прядко И.Н. О локально явных моделях некоторых негладких систем / И.Н. Прядко, Б.Н. Садовский // Автомат. и телемех.– 2004. - №10. – С. 40-50
3.	<a href="http://bsadovskiy.ru/">http://bsadovskiy.ru/</a>

## 17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

Maxima (ПО)

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционная аудитория, аудитории для лабораторных, компьютер, мультимедийный проектор, доска (мел, маркеры).

## 19. Фонд оценочных средств:

### 19.1 Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС (средства оценивания)
ОК-3 Готовность к саморазвитию, самореализацию, использованию творческого потенциала	Знать: алгоритм научного поиска, характеристику основных элементов научной работы	Разделы 1-3 Уравнение с нелинейным дифференциалом. Неидеальное реле. Замкнутые системы с реле	доклады
	Уметь осуществлять этапы поиска авторского решения	Разделы 1-3 Уравнение с нелинейным дифференциалом. Неидеальное реле. Замкнутые системы с реле	Практические задания
	Владеть навыками творческого решения задачи	Разделы 1-3 Уравнение с нелинейным дифференциалом. Неидеальное реле. Замкнутые системы с реле	Практические задания

ОПК-3 готовность самостоятельно создавать прикладные программные средства на основе современных информационных технологий и сетевых ресурсов	знать: существующие в настоящее время прикладные математические пакеты	Разделы 1-3 Уравнение с нелинейным дифференциалом. Неидеальное реле. Замкнутые системы с реле	Устный опрос, доклады
	Уметь: анализировать программные средства; самостоятельно создавать прикладные программные средства на основе современных информационных технологий и сетевых ресурсов;	Разделы 1-3 Уравнение с нелинейным дифференциалом. Неидеальное реле. Замкнутые системы с реле	Практические задания
	Владеть: методами и приемами создания прикладных программных средств для исследования систем релейного управления	Разделы 1-3 Уравнение с нелинейным дифференциалом. Неидеальное реле. Замкнутые системы с реле	Практические задания
ПК-4 способность публично представлять собственные и известные результаты	Знать: в достаточном объеме сведения об изучаемых объектах	Разделы 1-3 Уравнение с нелинейным дифференциалом. Неидеальное реле. Замкнутые системы с реле	Устный опрос, доклады
	Уметь: строить математические модели систем релейного управления и излагать результаты	Разделы 1-3 Уравнение с нелинейным дифференциалом. Неидеальное реле. Замкнутые системы с реле	Практические задания
	Владеть: навыками дискуссии, способностью публично представлять собственные и известные научные результаты	Разделы 1-3 Уравнение с нелинейным дифференциалом. Неидеальное реле. Замкнутые системы с реле	Практические задания
<b>Промежуточная аттестация</b>			Комплект КИМ

## 19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на зачете используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

владение теоретическими основами дисциплины, способность иллюстрировать ответ примерами, применять теоретические знания для решения практических задач.

ОЦЕНКИ	КРИТЕРИИ ОЦЕНОК
<b>Зачтено</b>	Для получения зачета по курсу необходимо знать основные понятия курса и владеть методами решения типовых задач; иметь конспект всех решенных задач лабораторных занятий и домашних заданий; иметь зачет по каждому типу задач, предлагаемых в аттестационных работах.
<b>Не зачтено</b>	Если не выполнено, по крайней мере, одной из условий зачета

### 19.3.1 Перечень вопросов к зачету:

1. Локально явные уравнения (основные определения).
2. Продолжимость решений локально явного уравнения.
3. Свойство единственности для класса сильных решений.
4. Описание неидеального реле, модель Красносельского-Покровского, свойства неидеального реле.

5. Локально явная модель неидеального реле (уравнение, проверка критерия локальной явности, отличия от модели Красносельского-Покровского).
6. Монотонность реле по входам.
7. Монотонность реле по пороговым значениям.
8. Управляемость реле.
9. Непрерывная зависимость выхода от входа.
10. Статичность реле.
11. "Гладкая" модель неидеального реле Садовского-Нгуен. Формулировка теоремы о степени несовпадения выходов гладкого и локально явного описания неидеального реле.
12. Теорема о степени несовпадения выходов гладкого и локально явного описания реле
12. Новая гладкая модель реле.
13. Замкнутая система с реле.
- 14 Теорема о близости.
15. Пример системы релейного управления.

### 19.3.2 Перечень практических заданий

1. Является ли функция  $\varphi(t) = 1 + \sin^2 t$  решением уравнения с нелинейным дифференциалом:
 
$$\Delta x = x \sin^2(t + dt) - \sin^2 t ?$$
2. Является ли уравнение  $\Delta x = e^{(t+dt)} - e^t$  локально явным?
3. По заданному на рисунке входу нарисуйте выход неидеального реле.
4. Найти выход неидеального реле с пороговыми значениями 0, 2, соответствующий входу  $\sigma(t) = 4 \sin t$  и начальному значению 1 на промежутке  $[0, 4\pi]$ .
5. Уравнение с нелинейным дифференциалом имеет сильное решение в некоторой точке  $(t_0, x_0)$ . Можно ли утверждать, что оно является локально явным? (В случае отрицательного ответа привести контрпример).
6. Найти все решения уравнения с нелинейным дифференциалом  $\Delta x = 2\sqrt{x}dt + dt^2$ , удовлетворяющие условию  $x(0) = 0$ . Указать среди них сильные.
7. Показать на примере монотонность реле по входам и пороговым значениям.
8. Составить систему уравнений предложенной электрической цепи (параллельное соединение) с реле, найти её решение на заданном промежутке, при заданных начальных условиях.
9. Доказать управляемость реле с помощью кусочно-линейных входов.
10. Для предложенной системы с одним реле на плоскости проверить выполнения условий критерия периодичности (в случае существования периодического решения найти период), найти решение системы на заданном промежутке.
11. Составить систему уравнений нагревателя с термореле по заданным параметрам, найти её решение.
12. Для предложенной системы с одним реле на плоскости проверить выполнения условий критерия периодичности (в случае существования периодического решения найти период), найти решение системы на заданном промежутке.
13. Составить систему уравнений предложенной электрической цепи (последовательное соединение) с реле, найти её решение на заданном промежутке, при заданных начальных условиях.
14. Для предложенной системы с одним реле на плоскости проверить выполнения условий критерия периодичности (в случае существования периодического решения найти период), найти решение системы на заданном промежутке.
15. С помощью гладкой модели реле и любого прикладного пакета продемонстрировать закон изменения тока в предложенной (параллельное соединение) релейной системе (в программе должна быть возможность менять пороговые значения, начальные значения и промежутки работы).
16. С помощью прикладного пакета продемонстрировать различия в работе изучаемых гладких моделей реле (в программе должна быть возможность менять пороговые значения, входы и промежутки работы).
17. С помощью гладкой модели реле и любого прикладного пакета нарисовать фазовый портрет системы с одним реле на плоскости (в программе должна быть возможность менять пороговые значения, начальные значения, параметры системы и промежутки работы).
18. С помощью гладкой модели реле и любого прикладного пакета нарисовать график решения системы с одним реле на плоскости (в программе должна быть возможность менять пороговые значения, начальные значения, параметры системы и промежутки работы).

19. С помощью гладкой модели реле и любого прикладного пакета продемонстрировать закон изменения тока в предложенной (последовательное соединение) релейной системе (в программе должна быть возможность менять пороговые значения, начальные значения и промежутки работы).
20. С помощью гладкой модели реле и любого прикладного пакета продемонстрировать закон изменения температуры нагревателя с термореле (в программе должна быть возможность менять пороговые значения, температуру окружающей среды и промежутки работы).

### **19.3.3 Тестовые задания**

#### **19.3.4 Перечень заданий для контрольных работ**

1. Проверить выполнения условий теоремы о глобальной однозначной разрешимости замкнутой системы с реле
2. Найти выход реле по входу
3. Установить периодичность решения системы с одним реле на плоскости.

#### **19.3.5 Темы курсовых работ**

#### **19.3.6 Темы докладов**

1. Описание неидеального реле, модель Красносельского-Покровского, свойства неидеального реле.
2. Локально явная модель неидеального реле (уравнение, проверка критерия локальной явности, отличия от модели Красносельского-Покровского).
3. Метрика в пространстве функций. Близости выходов неидеального реле в метрике Хаусдорфа .
4. “Гладкая” модель неидеального реле Садовского-Нгуен. Формулировка теоремы о степени несовпадения выходов гладкого и локально явного описания неидеального реле.
6. Новая гладкая модель реле.
7. Система с одним реле на плоскости критерий периодичности.

## **19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в формах: устного опроса (фронтальная беседа, доклады); выполнение практико-ориентированных заданий. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются качественная шкала оценок. Критерии оценивания приведены выше.