

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по ОД  
А.А. Панфилов

« 05 » 09 2018г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**  
**НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ»**

Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика

Профиль подготовки

Уровень высшего образования магистратура

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость (зач. ед./ час)	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Лаб. работы (час)	СРС (час)	Форма контроля (экз./зач.)
2	1/36	9	-	9	18	Зачет
<b>Итого</b>	1/36	9	-	9	18	Зачет

Владимир, 2018г.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью** освоения дисциплины «Математическое моделирование нелинейных волновых процессов» является ознакомление с физическими основами решения прикладных задач нелинейной оптики. Здесь следует выделить разработки в области создания новых волоконных лазеров, основанных на эффекте комбинационного рассеяния света, устройств по сжатию световых импульсов, генерации оптических солитонов.

### Задачи дисциплины:

- составление математических моделей для описания, анализа и численного моделирования при описании распространения оптического излучения в нелинейных средах, в том числе – на примере оптических волокон;
- выполнение компьютерного моделирования по решению нелинейных уравнений распространения оптических волновых пакетов в различных средах;
- анализ поставленной проектной задачи из области нелинейной волоконной оптики на основе изучения литературных и патентных источников;
- расчет технологических нормативов на расход оптических материалов и инструментов, выбор типового оборудования для постановки лазерного эксперимента по распространению оптических волновых пакетов в нелинейных средах.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Математическое моделирование нелинейных волновых процессов» относится к факультативным дисциплинам.

Изучение дисциплины предполагает наличие у студентов фундаментальных математических знаний, основанных на курсах «Дифференциальные уравнения», «Уравнения математической физики», «Численные методы», а также навыков программирования, которые могут быть получены в рамках дисциплин «Алгоритмы и анализ сложности», «Языки и методы программирования», «Объектно-ориентированное программирование».

Знания, полученные в рамках изучения данной дисциплины, могут быть применены для написания выпускной квалификационной работы.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины частично формируются следующие компетенции:

- ОПК-4; способностью использовать и применять углубленные знания в области прикладной математики и информатики;
- ПК-2; готовностью к математическому моделированию процессов и объектов приборостроения и их исследованию на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов;
- ПК-4; способностью разрабатывать и анализировать концептуальные теоретические модели решаемых задач проектной и производственно-технологической деятельности.

В результате освоения дисциплины обучающийся демонстрирует следующие результаты образования:

ЗНАТЬ	УМЕТЬ	ВЛАДЕТЬ
научные основы методов моделирования анализа данных (ОПК-4)	применять методы современного математического моделирования и анализа (ОПК-4)	современными методами моделирования и обработки информации (ОПК-4)
математическое моделирование процессов и объектов приборостроения и их исследование на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования	описывать математическое моделирование процессов и объектов приборостроения и исследовать их на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования	готовностью к математическому моделированию процессов и объектов приборостроения и их исследованию на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования

зированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов (ПК-2)	матизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов (ПК-2)	пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов (ПК-2)
научные основы разработки концептуальных и теоретических моделей производственно-технологической деятельности (ПК-4)	анализировать данные и выбирать требуемый тип модели производственно-технологической деятельности (ПК-4)	методами разработки концептуальных и теоретических моделей производственно-технологической деятельности (ПК-4)

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетная единица, 36 час.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)							Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	семинары	практ. занятия	лаб. работы	контр. работы	СРС	КП / КР		
1	Влияние нелинейно-дисперсионных эффектов на распространения световых импульсов в оптических средах.	2	1	2	-	-	2	-	4	-	2/50	
2	Численные методы анализа нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ).	2	2-8	2	-	-	3	-	6	-	3/60	Рейтинг-контроль №1
3	Моделирование процессов распространения лазерного излучения в дисперсионно-нелинейных средах.	2	9-12	2	-	-	2	-	4	-	2/50	Рейтинг-контроль №2
4	Системы генерации и нелинейного преобразования лазерных сигналов.	2	13-18	3	-	-	2	-	4	-	3/60	Рейтинг-контроль №3
	Всего	2	18	9	-	-	9	-	18	-	10/55	Зачёт

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ КУРС

**Раздел 1.** Влияние нелинейно-дисперсионных эффектов на распространения световых импульсов в оптических средах.

1.1. Волоконные световоды: изготовление и материалы.

1.2 Основы теории хроматической дисперсии. Волновые пакеты в диспергирующих средах. Фазовая и групповая скорости.

1.3 Нелинейные эффекты в волоконных световодах. Кубичный отклик среды.

**Раздел 2.** Численные методы анализа нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ).

2.1. Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ).

2.2 Метод расщепления по физическим факторам.

2.3 Случай сверхкоротких импульсов: нестационарные нелинейно-дисперсионные эффекты.

**Раздел 3.** Моделирование процессов распространения лазерного излучения в дисперсионно-нелинейных средах.

3.1 Распространение оптических импульсов в среде с дисперсией.

3.2 Распространение оптических импульсов в среде с дисперсией и нелинейностью.

3.3 Несимметрические трансформации импульса. Третье приближение теории дисперсии.

3.4 Образование ударной волны огибающей.

**Раздел 4.** Системы генерации и нелинейного преобразования лазерных сигналов.

4.1 Вынужденное рассеяние Мандельштама Бриллюэна.

4.2 ВРМБ-лазеры.

4.3 Оптические солитоны: фундаментальные солитоны и солитоны высших порядков.

4.4 Передача информации на оптических солитонах.

### Примерный перечень лабораторных работ.

Л.Р.№1. «Расчет параметров волоконных световодов» (1 ч.)

Л.Р.№2. «Изучение дисперсных характеристик в волоконных световодах» (2 ч.)

Л.Р.№3. «Моделирование уравнение распространения в чистом дисперсионном режиме» (2 ч.)

Л.Р.№4. «Моделирование распространения оптических импульсов в дисперсионно-нелинейной среде» (2 ч.)

Л.Р.№5. «Моделирование образования ударной волны огибающей» (2 ч.)

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 5.1. Активные и интерактивные формы обучения.

С целью формирования и развития профессиональных навыков студентов в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой: контрольные аудиторские работы, индивидуальные домашние работы.

Объем занятий, проводимых в интерактивных формах, составляет 27 часов (50%).

### 5.2. Самостоятельная работа студентов.

Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов включает закрепление теоретического материала при подготовке к выполнению контрольных заданий, составление конспекта лекций по предложенным темам. Основа самостоятельной работы - изучение литературы по рекомендованным источникам и конспекту лекций, решение выданных задач, подготовка и отчет по лабораторным работам.

### 5.3. Мультимедийные технологии обучения.

Некоторые из лекционных и лабораторных занятий проводятся в виде презентаций в мультимедийной аудитории (например, ауд. 430-3, 420-3) с использованием компьютер-

ного проектора. Студентам предоставляется компьютерный курс лекций. Компьютерные технологии используются для оформления лабораторных работ.

#### **5.4 Лекции приглашенных специалистов.**

В рамках учебного курса планируются лекции приглашенных специалистов из Института спектроскопии РАН (г. Москва).

### **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

Текущий контроль успеваемости проводится по всем видам занятий с использованием рейтинговой системы.

#### **6.1 . Примерный список вопросов к зачёту**

1. Уравнения Максвелла. Основное уравнение распространения.
2. Физические характеристики оптических сред: коэффициенты преломления и поглощения.
3. Волоконные световоды: изготовление и материалы.
4. Оптические импульсы. Модели световых импульсов.
5. Оптические потери в световодах.
6. Вынужденное комбинационное рассеяние.
7. Вынужденное рассеяние Мандельштама Бриллюэна.
8. Динамика волны накачки и стоксовой волны при вынужденном рассеянии Мандельштама-Бриллюэна. Порог ВРМБ.
9. Экспериментальное наблюдение вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна. Волоконные ВРМБ-лазеры.
10. Основы теории хроматической дисперсии. Волновые пакеты в диспергирующих средах. Фазовая и групповая скорости.
11. Преобразование формы и спектра импульса в дисперсионных средах.
12. Нелинейные эффекты в волоконных световодах. Кубичный отклик среды.
13. Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ).
14. Фазовая кросс-модуляция (ФКМ), фазовая самомодуляция (ФСМ).
15. Самофокусировка оптических импульсов.
16. Несимметрические трансформации импульса. Третье приближение теории дисперсии.
17. Передача информации в волоконных системах связи.
18. Нелинейные эффекты высших порядков. Образование ударной волны огибающей.
19. Оптические солитоны: фундаментальные солитоны и солитоны высших порядков.
20. Взаимодействие оптических солитонов.
21. Сжатие оптических импульсов: волоконно-решетчатые компрессоры.
22. Сжатие оптических импульсов: компрессоры на многосолитонном сжатии.
23. Параметрическое взаимодействие фемтосекундных импульсов: генерация второй гармоники (ГВГ).
24. Параметрическое усиление коротких импульсов.
25. Генерация суммарных и разностных частот. Параметрические солитоны.
26. Метод обратной задачи рассеяния при решении НУШ.
27. Волоконные лазеры.

#### **6.2. Вопросы для рейтинг-контроля**

##### **Рейтинг-контроль № 1**

1. Физические характеристики оптических сред: коэффициенты преломления и поглощения.
2. Оптические потери в световодах.
3. Вынужденное комбинационное рассеяние.

4. Вынужденное рассеяние Мандельштама Бриллюэна.
5. Динамика волны накачки и стоксовой волны при вынужденном рассеянии Мандельштама-Бриллюэна. Порог ВРМБ.
6. Основы теории хроматической дисперсии. Волновые пакеты в диспергирующих средах. Фазовая и групповая скорости.
7. Преобразование формы и спектра импульса в дисперсионных средах.
8. Самофокусировка оптических импульсов.
9. Нелинейные эффекты высших порядков. Образование ударной волны огибающей.
10. Генерация суммарных и разностных частот. Параметрические солитоны.
11. Нелинейные эффекты в волоконных световодах. Кубичный отклик среды.

#### **Рейтинг-контроль № 2**

1. Нелинейное уравнение Шрёдингера (НУШ).
2. Обобщённое нелинейное уравнение Шрёдингера.
3. Уравнение Гинзбурга-Ландау.
4. Фазовая кросс-модуляция (ФКМ), фазовая самомодуляция (ФСМ).
5. Оптические солитоны: фундаментальные солитоны и солитоны высших порядков.
6. Метод обратной задачи рассеяния при решении НУШ.
7. Фурье-метод расщепления по физическим факторам. Общие принципы.
8. Нормировка нелинейного уравнения Шрёдингера.
9. Коммутатор Бейкера-Хаусдорфа.
10. Решение НУШ разностными методами.

#### **Рейтинг-контроль № 3**

1. Уравнения Максвелла. Основное уравнение распространения.
2. Волоконные световоды: изготовление и материалы.
3. Оптические импульсы. Модели световых импульсов.
4. Экспериментальное наблюдение вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна. Волоконные ВРМБ-лазеры.
5. Несимметрические трансформации импульса. Третье приближение теории дисперсии.
6. Передача информации в волоконных системах связи.
7. Взаимодействие оптических солитонов.
8. Сжатие оптических импульсов: волоконно-решетчатые компрессоры.
9. Сжатие оптических импульсов: компрессоры на многосолитонном сжатии.
10. Параметрическое взаимодействие фемтосекундных импульсов: генерация второй гармоники (ГВГ).
11. Параметрическое усиление коротких импульсов.
12. Волоконные лазеры.

#### **6.3. Вопросы к самостоятельной работе студента**

1. Оптические солитоны: фундаментальные солитоны и солитоны высших порядков.
2. Взаимодействие оптических солитонов.
3. Сжатие оптических импульсов: волоконно-решетчатые компрессоры.
4. Сжатие оптических импульсов: компрессоры на многосолитонном сжатии.
5. Параметрическое взаимодействие фемтосекундных импульсов: генерация второй гармоники (ГВГ).
6. Параметрическое усиление коротких импульсов.
7. Генерация суммарных и разностных частот. Параметрические солитоны.
8. Метод обратной задачи рассеяния при решении НУШ.
9. Волоконные лазеры.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

п/п	Название и выходные данные (автор, вид издания, издательство, издания, количество страниц)	Наличие в электронной библиотеке ВЛГУ
1	2	3
<b>Основная литература</b>		
1	Численные методы [Электронный ресурс] / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. - 8-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ, 2015. - (Классический университетский учебник).	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996326167.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996326167.html</a>
2	Борисов А.Б., Киселев В.В, Квазиодномерные магнитные солитоны [Электронный ресурс] - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2014. -.ISBN 978-5-9221-1590-2.	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115902.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115902.html</a>
3	Физика. От теории к практике. В 2 кн. Кн. 1: Механика, оптика, термодинамика [Электронный ресурс] / Бёрд Дж. - М.: ДМК Пресс, 2016. - (Серия "Карманный справочник"). - ISBN9785941200764	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785941200764.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785941200764.html</a>
<b>Дополнительная литература</b>		
1	К теории двумерных и трехмерных систем автоматического регулирования [Электронный ресурс] / А.Г. Барский. - М. : Логос, 2015. - ISBN 978-5-98704-807-8.	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987048078.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987048078.html</a>
2	Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений [Электронный ресурс] / Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семёнов А.Ю. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - ISBN 978-5-9221-1198-0.	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922111980.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922111980.html</a>
3	Лекции по теории вероятностей и математической статистике [Электронный ресурс]: учебник / Прохоров Ю.В., Пономаренко Л.С. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Издательство Московского государственного университета, 2012. - (Классический университетский учебник). - ISBN 978-5-211-06234-4.	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785211062344.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785211062344.html</a>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

- аудитории для проведения лекционных, практических и лабораторных занятий, оснащённые современными персональными компьютерами, объединёнными в локальную вычислительную сеть и укомплектованными необходимым системным программным обеспечением (511-3, 100-3, 1226-3, 106-3);
- система математических и инженерных расчётов MATLAB;
- кафедральные мультимедийные средства (ауд. 430-3, 420-3);
- электронные записи лекций.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика.

Рабочую программу составил доцент кафедры ФиПМ Прохоров А. В. \_\_\_\_\_

Рецензент

(представитель работодателя) Ген. директор ООО «ФС Сервис» Квасов Д.С. \_\_\_\_\_

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ  
Протокол №1 от 03.09.2018 года.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 01.04.02 Прикладная математика и информатика.

Протокол №1 от 03.09.2018 года.

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_