

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



УТВЕРЖДАЮ  
 Проректор по  
 учебно-методической работе  
 \_\_\_\_\_ А.А Панфилов  
 « 23 » декабря 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦИИ  
 И ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ».**

Направление подготовки 12.04.05 Лазерная техника и лазерные техноло-  
гии

Программа подготовки Твердотельные и полупроводниковые лазерные  
системы

Уровень высшего образования магистратура

Форма обучения очная

Семестр	Трудоем- кость зач. ед., час.	Лек- ций, час.	Практич. занятий, час.	Лаборат. лабот, час.	СРС, час	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
2	5 /180	18	18	36	63	Экзамен (45 часов)
<b>Итого</b>	<b>5 /180</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>63</b>	<b>Экзамен (45 часов)</b>

Владимир, 2015

*Handwritten signature*

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Математическое моделирование систем генерации и транспортировки лазерного излучения» является ознакомление с подходами решения прикладных задач лазерной физики и нелинейной оптики, связанными с работой ключевых составляющих лазерных установок и систем различного назначения.

### Задачи дисциплины:

- развитие навыков составления математических моделей для описания, анализа и численного моделирования процессов распространения оптического излучения в оптических, в том числе нелинейных, средах на примере оптических волокон и волоконных лазеров;
- развитие навыков компьютерного моделирования по решению нелинейных уравнений распространения оптических волновых пакетов в различных средах;
- развитие навыков анализа поставленной проектной задачи из области нелинейной волоконной оптики на основе изучения литературных и патентных источников.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Математическое моделирование систем генерации и транспортировки лазерного излучения» относится к дисциплинам базовой части ОПОП (программа «Твердотельные и полупроводниковые лазерные системы»).

Изучение дисциплины предполагает наличие у студентов фундаментальных математических знаний, основанных на курсах «Дифференциальные уравнения», «Уравнения математической физики», «Численные методы», «Лазерные измерения», «Математическое моделирование нелинейных волновых процессов», «Приемники оптического излучения», а также навыков программирования, которые могут быть получены в рамках дисциплин образовательной программы бакалавриата, а также дисциплины «Информационные технологии в лазерной технике и лазерных технологиях» программы магистратуры.

Знания, полученные в рамках изучения данной дисциплины, могут быть применены при изучении дисциплин «Оптоэлектроника», «Основы современных технологий производства лазерной техники», «Проектирование систем наведения и транспортировки лазерного излучения», при выполнении научно-исследовательской работы и выпускной квалификационной работы.

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

В результате освоения дисциплины частично формируются следующие компетенции:

- ПК- 1; способность разрабатывать математические модели объектов исследования и выбирать численный метод их моделирования (анализа), разрабатывать новый или выбирать готовый алгоритм решения задачи;
- ДПК-7; способность моделировать процессы эволюции лазерного излучения при его генерации и транспортировке;
- ДПК-12; способность к расчёту параметров волоконного лазера и параметров входящих в него компонентов

В результате освоения дисциплины обучающийся демонстрирует следующие результаты образования:

ЗНАТЬ	УМЕТЬ	ВЛАДЕТЬ
как разрабатывать математические модели объектов исследования и выбирать численный метод их моделирования (анализа), разрабатывать новый или выбирать готовый алгоритм решения задачи (ПК-1)	разрабатывать математические модели объектов исследования и выбирать численный метод их моделирования (анализа), разрабатывать новый или выбирать готовый алгоритм решения задачи (ПК-1)	способностью разрабатывать математические модели объектов исследования и выбирать численный метод их моделирования (анализа), разрабатывать новый или выбирать готовый алгоритм решения задачи (ПК-1)
как моделировать процессы эволюции лазерного излучения при его генерации и транспортировке (ДПК-7)	моделировать процессы эволюции лазерного излучения при его генерации и транспортировке (ДПК-7)	способностью моделировать процессы эволюции лазерного излучения при его генерации и транспортировке (ДПК-7)
как производить расчёт параметров волоконного лазера и параметров входящих в него компонентов (ДПК-12)	производить расчёт параметров волоконного лазера и параметров входящих в него компонентов (ДПК-12)	способностью к расчёту параметров волоконного лазера и параметров входящих в него компонентов (ДПК-12)

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ 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	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС			КП / КР
1	Влияние нелинейно-дисперсионных эффектов на распространения световых импульсов в оптических средах.	2	1-6	6	6	12			21	-	12/50	рейтинг-контроль №1
2	Численные методы анализа нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ).	2	7-10	4	4	8			9	-	8/50	рейтинг-контроль №2
3	Моделирование процессов распространения лазерного излучения в дисперсионно-нелинейных средах.	2	11-14	4	4	8			14	-	8/50	

4	Системы генерации и нелинейного преобразования лазерных сигналов.	2	15-18	4	4	8		19	-	8/50	рейтинг-контроль №3
<b>Всего</b>		<b>2</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>		<b>63</b>	<b>-</b>	<b>36/50</b>	<b>Экзамен(45)</b>

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ КУРС

### Семестр 2

**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.

#### Лабораторный практикум.

Л.Р.№1. Расчет параметров волоконных световодов (4 ч).

Л.Р.№2. Изучение дисперсных характеристик в волоконных световодах (4 ч).

Л.Р.№3. Моделирование уравнение распространения в чистом дисперсионном режиме (6 ч).

Л.Р.№4. Моделирование распространения оптических импульсов в дисперсионно-нелинейной среде (6 ч).

Л.Р.№5. Моделирование образования ударной волны огибающей (6 ч).

Л.Р.№5. Моделирование образования оптических солитонов (10 ч).

#### Практические занятия

Тема 1. Оптические волокна и методы их изготовления (6 ч.).

Тема 2. Численные методы анализа нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ) (6 ч.).

Тема 3. Моделирование процессов распространения лазерного излучения в дисперсионно-нелинейных средах (6 ч.).

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

### **4.1. 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). В ходе практических занятий предполагается разбор в проблемном аспекте конкретных ситуаций возникновения и решения задач математического моделирования процессов генерации лазерного излучения и его распространения в средах с различными свойствами. Это имеет целью развития у студентов аналитического мышления и навыков разрешения проблемных ситуаций.

### **4.2. Самостоятельная работа студентов**

Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов включает закрепление теоретического материала при подготовке к выполнению индивидуальной домашней работы и к практическим занятиям. Основа самостоятельной работы – изучение литературы по рекомендованным источникам и конспекту лекций, решение выданных преподавателем практики задач.

### **4.3. Мультимедийные технологии обучения**

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

Студентам предоставляется компьютерный курс лекций.

Вопросы компьютерного моделирования распространения лазерного излучения в нелинейных средах поясняются демонстрацией использования для этих целей пакета MATLAB.

### **4.4. Лекции приглашенных специалистов**

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 балльно-рейтинговой системы.

### **5.1. Экзаменационные вопросы и задачи**

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.

## **5.2. Вопросы к рейтинг-контролям**

### **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 Шредингера (НУШ).
2. Обобщённое нелинейное уравнение Шредингера.
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.

### **5.3. 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.
10. Вихревые оптические пучки.
11. Проектирование высокочастотных линий связи на основе оптических вихрей.
12. Оптические среды с гигантскими нелинейностями.
13. Микроструктурированные оптические среды и оптические решетки.
14. «Правые» и «Левые» оптические среды.
15. Шрёдингерские солитоны.
16. Фемтосекундные солитоны.
17. Оптические линии связи. RZ- формат кодирования сигналов.
18. Тёмные солитоны.
19. Системы с мультиплексированием по длинам волн.
20. Некерровские оптические среды и нелинейности высших порядков.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) основная литература:

1. Численные методы [Электронный ресурс] / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. - 8-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ, 2015. - (Классический университетский учебник).
2. Борисов А.Б., Киселев В.В., Квазиодномерные магнитные солитоны [Электронный ресурс] - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2014. - ISBN 978-5-9221-1590-2.

### б) дополнительная литература:

1. К теории двумерных и трехмерных систем автоматического регулирования [Электронный ресурс] / А.Г. Барский. - М. : Логос, 2015. - ISBN 978-5-98704-807-8.
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.
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.

### в) периодические издания

1. Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики. ISSN: 0370-274X.
2. Physical Review A. ISSN 1094-1622.
3. Physical Review Letters. ISSN 1079-7114.
4. Квантовая электроника. ISSN 1468-4799.

### г) интернет-ресурсы:

1. Нелинейная оптика. Laser.Portal.Ru. // Режим доступа: [http://laser-portal.ru/content\\_372](http://laser-portal.ru/content_372).
2. Лаборатории и научные группы отдела квантовой электроники кафедры общей физики Санкт-Петербургского государственного университета // Режим доступа: <http://genphys.ru/research-groups.html>.
3. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013, №5 (87) // Режим доступа: <http://ntv.ifmo.ru/file/journal/130.pdf>.
4. Exponenta.ru. Образовательный математический сайт. // Режим доступа: <http://exponenta.ru/>.


## 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;
- система математических и инженерных расчётов MATLAB;
- кафедральные мультимедийные средства;
- электронные записи лекций.



Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии, программа «Твердотельные и полупроводниковые лазерные системы»

Рабочую программу составили: доц. каф. ФиПМ А.В.Прохоров 

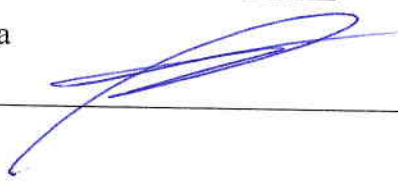
Рецензент 

м. спец. научно-иссл. отдела ФКП "ГЛВ Втуга"

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол № 59 от 22.12.15 года

Заведующий кафедрой 

С.М. Аракелян

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии программа «Твердотельные и полупроводниковые лазерные системы»

Протокол № 59 от 22.12.15 года

Председатель комиссии 

С.М. Аракелян

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

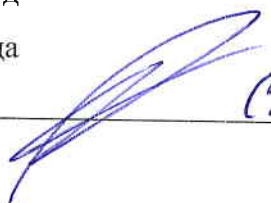
Рабочая программа одобрена на 16-17 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 31.08.16 года

Заведующий кафедрой С.М. Аракелян 

Рабочая программа одобрена на 2017-2018 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.17 года

Заведующий кафедрой 

С.М. Аракелян

Рабочая программа одобрена на 2018-2019 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 09.09.18 года

Заведующий кафедрой 