

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 образовательной деятельности

А.А.Панфилов

« 02 » 09 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦИИ**  
**И ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ»**  
(наименование дисциплины)

Направление подготовки 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Профиль/программа подготовки Твердотельные и полупроводниковые лазерные системы

Уровень высшего образования магистратура

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
2	6/ 216	18		18	135	экзамен (45)
Итого	6/ 216	18		18	135	экзамен (45)

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель 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:

- 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.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции <sup>1</sup>	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
ОПК-1	<i>частичное</i>	<b>Знает</b> современные проблемы и специфику исследований и разработок в области лазерной техники, оптических материалов и лазерных технологий; <b>Умеет</b> применять актуальную нормативную документацию в области профессиональной деятельности; выбирать и использовать адекватные поставленной задаче методы её решения, в том числе нетрадиционные и использующие междисциплинарные знания; <b>Владеет</b> навыками систематизации и анализа отобранной документации в области научных исследований и защиты интеллектуальной собственности;

<sup>1</sup> Полное или частичное освоение указанной компетенции

ПК-1	<i>частичное</i>	<p><b>Знает</b> типовую структуру описания научного исследования на этапе его планирования; примеры постановки задач научных исследований в области лазерной техники и лазерных технологий и в смежных областях;</p> <p><b>Умеет</b> определять актуальность планируемых научных исследований на основе анализа источников научно-технической информации в области лазерной техники и лазерных технологий;</p> <p><b>Владеет</b> навыками составления описания планируемого научного исследования; навыками использования междисциплинарного подхода при анализе научно-технической проблемы и планировании исследований в области лазерной техники и лазерных технологий;</p>
ПК-2	<i>частичное</i>	<p><b>Знает</b> методы и средства измерений параметров лазерного излучения; методы математического моделирования в области профессиональной деятельности; требования безопасности при проведении экспериментальных исследований лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем;</p> <p><b>Умеет</b> разрабатывать модели исследуемых процессов и явлений в области профессиональной деятельности; участвовать в теоретических и экспериментальных исследованиях в области лазерной техники и лазерных технологий;</p> <p><b>Владеет</b> навыками целенаправленного планирования экспериментов; проведения математических и физических экспериментов в области профессиональной деятельности и анализа их результатов;</p>
ПК-7	<i>частичное</i>	<p><b>Знает</b> физические принципы, лежащие в основе процессов, протекающих при распространении лазерного излучения через вещество; основные принципы проектирования систем транспортировки лазерного излучения;</p> <p><b>Умеет</b> моделировать процессы эволюции лазерного излучения при его генерации и транспортировке; проектировать конструктивные элементы систем транспортировки и наведения лазерного излучения;</p> <p><b>Владеет</b> способностью составлять и оперировать математическими моделями распространения лазерного излучения; навыками проектировки систем транспортировки и наведения лазерного излучения;</p>

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем 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, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Влияние нелинейно-дисперсионных эффектов на распространения световых импульсов в оптических средах	2	1-6	6		4	34	5/50	Рейтинг-контроль №1
2	Численные методы анализа нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных.	2	7-10	4		4	34	4/50	

	Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ).								
3n	Моделирование процессов распространения лазерного излучения в дисперсионно-нелинейных средах	2	11-14	4		4	34	3/37	Рейтинг-контроль №2
4n	Системы генерации и нелинейного преобразования лазерных сигналов.	2	15-18	3		6	33	4/44	Рейтинг-контроль №3
Наличие в дисциплине КП/КР									
Итого по дисциплине									
			18	18		18	135	16/44	экзамен (45)

### Содержание лекционных занятий по дисциплине

**Тема 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.

**Тема 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.

**Тема 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.

**Темал 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.

### Содержание лабораторных занятий по дисциплине

Л.Р.№1. Расчет параметров волоконных световодов.

Л.Р.№2. Изучение дисперсных характеристик в волоконных световодов.

Л.Р.№3. Моделирование уравнение распространения в чистом дисперсионном режиме.

Л.Р.№4. Моделирование распространения оптических импульсов в дисперсионно-нелинейной среде.

Л.Р.№5. Моделирование образования ударной волны огибающей.

Л.Р.№6. Моделирование образования оптических солитонов.

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Математическое моделирование систем генерации и транспортировки лазерного излучения» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- Интерактивная лекция (тема № 2);
- Групповая дискуссия (тема № 1);
- Анализ ситуаций (тема № 3);
- Применение имитационных моделей (лабораторные работы № 3-6);
- Разбор конкретных ситуаций (тема № 4);

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

### **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 Манделъштама Бриллюэна.
5. Динамика волны накачки и стоксовой волны при вынужденном рассеянии Манделъштама-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 Манделъштама-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.

#### **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. Шредингеровские 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.
21. Диссипативные оптические солитоны.

#### **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.

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
<b>Основная литература*</b>			
1. Червяков, Г. Г. Нелинейные процессы СВЧ-электроники и когерентной оптики : учебное пособие / Г. Г. Червяков ; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2017. - 298 с. - ISBN 978-5-9275-2548-5. - Текст : электронный. - URL:	2017	-	<a href="https://znanium.com/catalog/product/1021589">https://znanium.com/catalog/product/1021589</a>
21. Борисов А.Б., Киселев В.В., Квазиодномерные магнитные солитоны [Электронный ресурс] - М. : ФИЗМАТЛИТ. ISBN 978-5-9221-1590-2.	2016	-	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115902.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115902.html</a>
3. Васильев, Н. Н. Введение в волновую оптику: Учебное пособие / Васильев Н.Н. - СПб:СПбГУ, 2016. - 38 с.: ISBN 978-5-288-05652-9. - Текст : электронный. - URL:	2016	-	<a href="https://znanium.com/catalog/product/942242">https://znanium.com/catalog/product/942242</a>
<b>Дополнительная литература</b>			
1. К теории двумерных и трехмерных систем автоматического регулирования [Электронный ресурс] / А.Г. Барский. - М. : Логос. - ISBN 978-5-98704-807-8.	2015	-	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785941200764.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785941200764.html</a>
2. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений [Электронный ресурс] / Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семёнов А.Ю. - М. : ФИЗМАТЛИТ. - ISBN 978-5-9221-1198-0.	2012	-	<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	2012	-	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785211062344.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785211062344.html</a>



\*не более 5 источников

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий *лекционного типа, занятий практического/лабораторного типа, а именно 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.

Рабочую программу составил доцент кафедры ФиПМ Прохоров А. В.

(ФИО, подпись)

Рецензент

(представитель работодателя) Ген. Директор ООО «ВладИнТех» Осипов А. В.

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол № 1 от 02.09.19 года

Заведующий кафедрой Аракелян С.М.

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Протокол № 1 от 02.09.19 года

Председатель комиссии

(ФИО, подпись)

## ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 2020-2021 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 31.08.2020 года

Заведующий кафедрой

С.М. Аракелян

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