

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан  
А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Нелинейная оптика

по направлению подготовки

12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Направленность (профиль) подготовки:  
Квантовые приборы и системы

Форма обучения  
Очная

Квалификация  
Бакалавр

Год приема  
2024

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
А.Г. Коротаев

Председатель УМК  
А.П. Коханенко

Томск – 2025

## 1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с фотонными технологиями обработки информации, проектированием, конструированием и технологиями производства лазерной техники.

ПК-1 Способен к анализу поставленной задачи исследований в области лазерной техники.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-1.1 Применяет знания математики в инженерной практике при моделировании

ИОПК-1.2 Применяет общеинженерные знания в профессиональной деятельности.

ИОПК-1.3 Применяет знания естественных наук в инженерной практике

ИПК-1.1 Анализирует и определяет требования к параметрам, предъявляемые к разрабатываемой системе с учётом известных экспериментальных и теоретических результатов

ИПК-1.2 Определяет задачи, решаемые с помощью системы, и ожидаемые результаты ее использования

## Цель освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины «Методы нелинейной динамики и моделирование оптических систем» заключается в приобретении студентами глубоких и современных знаний проблем нелинейной динамики (синергетики, Nonlinear Science) и методов моделирования и исследования процессов в нелинейных системах со сложным поведением (включая устройства лазерной техники), проблем применения этих систем для обработки информации. Привитие принципов сложносистемного мышления.

### 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору студента вариативной части Профессионального цикла Блока 1. «Дисциплины (модули)» («Дисциплины (модули) по выбору П.В.1», Б1.П.В.ДВ.01.02.).

Пререквизиты. Для освоения дисциплины «Методы нелинейной динамики и моделирования оптических систем» необходимо наличие у студента компетенций, сформированных при изучении дисциплин: «Физика», «Основы оптики», «Радиоэлектроника», «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Аналитическая геометрия», «Методы математической физики», «Численные методы и математическое моделирование». Либо необходимы знания иных курсов аналогичных по содержанию. Обучаемый должен знать: основные термины, понятия, законы, принципы, модели, методы указанных дисциплин.

Постреквизиты. Освоение дисциплины «Методы нелинейной динамики и моделирования оптических систем» необходимо для последующего изучения дисциплины «Волноводная фотоника», «Нелинейная оптика» и проведения научно-исследовательской работы в рамках подготовки выпускной квалификационной работы.

### 2. Компетенции и результаты обучения, формируемые в результате освоения дисциплины/модуля

Таблица 1

Компетенция	Индикатор компетенции	Код и наименование результатов обучения (планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций)
<b>УК-1.</b> Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации,	<b>ИУК-1.1.</b> Осуществляет поиск информации, необходимой для	<b>УР-1.1.1.</b> Осуществляет поиск информации недостающей для решения заданной проблемной

<p>применять системный подход для решения поставленных задач</p>	<p>решения задачи</p>	<p>ситуации в области нелинейной динамики и моделирования оптических систем.</p>
	<p><b>ИУК-1.2.</b> Проводит критический анализ различных источников информации (эмпирической, теоретической)</p>	<p><b>УР-1.2.1.</b> В контексте поставленной задачи выполняет сравнительный анализ различных источников информации о возможных способах исследования и применения нелинейно динамических явлений и процессов в оптических системах.</p>
	<p><b>ИУК-1.3.</b> Выявляет соотношение части и целого, их взаимосвязь, а также взаимоподчиненность элементов системы в ходе решения поставленной задачи</p>	<p><b>УР-1.3.1.</b> В контексте исследования и применения нелинейно динамических явлений и процессов в оптических системах выявляет соотношение части и целого, их взаимосвязь, а также взаимоподчиненность элементов систем.</p>
	<p><b>ИУК 1.4</b> Синтезирует новое содержание и рефлексивно интерпретирует результаты анализа</p>	<p><b>УР-1.4.1.</b> В контексте исследования и применения нелинейно динамических явлений и процессов в оптических системах синтезирует новое знание и даёт ему важнейшие аспектные характеристики.</p>
<p><b>ОПК-1.</b> Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с фотонными технологиями обработки информации, проектированием, конструированием и технологиями производства лазерной техники.</p>	<p><b>ИОПК-1.1.</b> Применяет знания математики в инженерной практике при моделировании.</p>	<p><b>ОР-1.1.1.</b> Применяет методы нелинейной динамики и математического моделирования оптических систем для описания процессов в нелинейных системах со сложным поведением применимых для создания элементов приборов информационной оптики и лазерной техники.</p>
	<p><b>ИОПК-1.2.</b> Применяет общеинженерные знания в профессиональной деятельности.</p>	<p><b>ОР-1.2.1.</b> Применяет общеинженерные знания для объяснения явлений и процессов в нелинейных системах со сложным поведением применимых для</p>

		создания элементов приборов информационной оптики и лазерной техники.
	<b>ИОПК-1.3.</b> Применяет знания естественных наук в инженерной практике.	<b>ОР-1.3.1.</b> Знает о применимости представлений и явлений нелинейной динамики, методов моделирования оптических систем для создания элементов приборов информационной оптики и лазерной техники.
<b>ОПК-4.</b> Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.	<b>ИОПК-4.1.</b> Использует современные информационные технологии и программное обеспечение при решении задач профессиональной деятельности.	<b>ОР-4.1.1.</b> С использованием современных программных и электронных средств осуществляет поиск, систематизацию учебной и научно-технической информации о методах нелинейной динамики и моделировании оптических систем.
<b>ПК-1.</b> Способен к анализу поставленной задачи исследований в области лазерной техники.	<b>ИПК-1.1.</b> Анализирует и определяет требования к параметрам, предъявляемые к разрабатываемой системе с учётом известных экспериментальных и теоретических результатов.	<b>ПР-1.1.1.</b> Анализирует и корректирует требования к параметрам разрабатываемых элементов приборов лазерной техники с учётом известных свойств нелинейно-динамических устройств.
	<b>ИПК-1.2.</b> Определяет задачи, решаемые с помощью системы, и ожидаемые результаты ее использования.	<b>ПР-1.2.1.</b> Анализирует и корректирует задачи, решаемые с помощью нелинейно-динамических устройств в лазерной технике, оценивает возможные результаты их использования.

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Структура и трудоемкость видов учебной работы по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах	
	5 семестр	всего
<b>Общая трудоемкость</b>	92,5	92,5
<b>Контактная работа:</b>		
Лекции (Л):	50	50
Практические занятия (ПЗ)	34	34
Лабораторные работы (ЛР)	–	–
Семинарские занятия (СЗ)	–	–
Групповые консультации	2	2
Индивидуальные консультации	6,2	6,2
Промежуточная аттестация	0,3	0,3
<b>Самостоятельная работа обучающегося:</b>	55,8	55,8
- <i>написание реферата</i>	8	8
- <i>подготовка доклада</i>	4	4
- <i>изучение учебного материала, публикаций</i>	43,8	43,8
<b>Вид промежуточной аттестации (экзамен)</b>	31,7	31,7

### 3.2. Содержание и трудоемкость разделов дисциплины/модуля

Таблица 3

Код занятия	Наименование разделов и тем и их содержание	Вид учебной работы, занятий, контроля	Се ме стр	Часы в электрон ной форме	Всего (час.)	Литература	Код (ы) результата(ов) обучения
	<b>Раздел 1. Введение. Роль нелинейной динамики в развитии современного естествознания.</b>		5				
1.1.	Наука Нового времени и наука Новейшего времени: сходство и различия. Методологическая роль наблюдателя в процедурах познания на различных стадиях науки. Логика нелинейной динамики и её задачи в XXI в. (по Г.Г. Малинецкому).	Лекции			2	п. 4.1.1 № 1, 3–5; п. 4.1.2 № 1, 3, 4, 6–8, 14, 15.	УР-1.4.1, ОР-1.1.1, ОР-1.2.1, ОР-1.3.1.
1.2.	Изучение учебного материала	СРС			1,3		
	<b>Раздел 2. Основные категории нелинейной динамики.</b>		5				
2.1.	Понятия системы, структуры и модели. Динамическая система и её математическая модель. Понятие нелинейности. Нелинейный осциллятор, нелинейный резонанс, динамическая стохастичность. Нелинейные волновые процессы: ударные волны и солитоны. Понятие простого и сложного поведения. Понятие устойчивости динамической системы и особых точек системы. Понятие бифуркации. Понятие порядка и хаоса. Стохастические колебания. Феномены самоорганизации и детерминированного хаоса. Понятие дискретного отображения. Понятие странного аттрактора (на примере модели Лоренца). Понятие репеллера. Понятие дробной размерности и фрактала. Примеры фракталов. Понятие масштабной инвариантности	Лекции			10	п. 4.1.1 № 1, 3, 4; п. 4.1.2 № 2, 5, 6, 10–12.	УР-1.1.1., УР-1.2.1., УР-1.3.1., УР-1.4.1., ОР-1.1.1, ОР-1.2.1, ОР-1.3.1, ОР-4.1.1.

	(скейлинга).						
2.2.	Категория системы, структуры, модели (в контексте предмета исследования) в науке. Модель как общенаучный термин, виды моделей. Понятие нелинейности и её роль в науке. Понятие репликации и её примеры. Понятие динамической системы и её математической модели. Порядок, беспорядок, именная форма в чём сходство?	Практические занятия			12		
2.3.	Изучение учебного материала	СРС			7,5		
2.4.	Написание реферата, подготовка доклада	СРС			4,2		
	<b>Раздел 3. Методы описания и исследования нелинейных динамических систем.</b>		5				
3.1.	Устойчивость по Ляпунову. Фазовый поток, фазовая жидкость, фазовая капля. Преобразование пекаря. Структурная устойчивость, грубость системы. Понятие катастрофы. Методы численной оценки ляпуновских показателей. Алгоритм вычисления старшего ляпуновского показателя. Зависимость спектра ляпуновских показателей от параметров системы. Сценарии перехода к хаосу. Постоянная Фейгенбаума. Рождение хаоса через перемежаемость (сценарий Помо–Манневила).	Лекции			22	п. 4.1.1 № 1, 3–5; п. 4.1.2 № 2–6, 9, 10, 12, 13.	УР-1.1.1, УР-1.2.1, ОР-1.1.1, ОР-1.2.1, ОР-1.3.1, ОР-4.1.1.
3.2.	Фазовое пространство динамической системы, понятие аттрактора, репеллера, их примеры. Особые точки и приёмы их нахождения и анализа. Понятие грубости системы. Структурная устойчивость. Устойчивость по Ляпунову. Понятие размерности и дробной размерности, фрактала, странного аттрактора. Виды дробной размерности и способы её вычисления. Понятие детерминированного хаоса. Сценарии перехода к хаосу.	Практические занятия			12		
3.3.	Изучение учебного материала	СРС			20		
3.4.	Написание реферата, подготовка доклада	СРС			4,2		

	<b>Раздел 4. Формообразование в пространственно распределённых динамических системах.</b>		5				
4.1.	<p>Концепция самоорганизации Г. Хакена. Управляющие переменные (параметры порядка) и подчинённые переменные. Концепция самоорганизации И. Пригожина. Диссипативные структуры. Автоволновые процессы. Ячейки Бенара. Волны переключения.</p> <p>Генерация оптических структур в кольцевом интерферометре. Бифуркационная диаграмма как инструмент исследования модели нелинейной системы. Понятие равносильности влияния некоторых групп параметров на эволюцию системы.</p> <p>Режимы с локализацией и обострением. Колебательная химическая реакция Белоусова–Жаботинского.</p>	Лекции			16	п. 4.1.1 № 1, 2, 4; п. 4.1.2 № 3, 5, 6, 10, 11.	УР-1.1.1, УР-1.2.1, УР-1.3.1, УР-1.4.1, ОР-1.1.1, ОР-1.2.1, ОР-1.3.1, ОР-4.1.1, ПР-1.1.1, ПР-1.2.1.
4.2.	<p>Понятие самоорганизации. Управляющие переменные (параметры порядка в смысле Г. Хакена) и подчинённые переменные. Лазер как система с бифуркациями и фазовым переходом. Бифуркации и хаос в нелинейном кольцевом интерферометре. Хаос как носитель информации. Нелинейно-оптические системы и обработка информации.</p>	Практические занятия			10		
4.3.	Изучение учебного материала	СРС			15		
4.4.	Написание реферата, подготовка доклада	СРС			3,6		
5.	<b>Промежуточная аттестация</b>	Экзамен	5		31,7	п. 4.1.1 № 1–5; п. 4.1.2 № 1–15.	УР-1.2.1, УР-1.3.1, УР-1.4.1, ОР-1.1.1, ОР-1.2.1, ОР-1.3.1, ПР-1.1.1, ПР-1.2.1.

#### **4. Образовательные технологии, учебно-методическое и информационное обеспечение для освоения дисциплины**

Основной объём знаний обучаемый приобретает на лекциях, в ходе практических занятий и подготовки к ним. На практических занятиях каждый имеет возможность выступить с докладом на предложенную тему, участвовать в решении задач, проблемных ситуаций и обсуждении (задавать и отвечать на вопросы, высказывать своё мнение).

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины может включать следующее:

- изучение имеющегося учебного материала;
- составление списка вопросов и своих вариантов ответа на них;
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- поиск и обзор литературы (в том числе электронных источников информации) по индивидуально заданной проблеме курса;
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- поиск, анализ, структурирование и презентация информации (написание реферата, презентаций, текстов выступлений с докладами на практических занятиях);
- подготовку ответов на контрольные вопросы при подготовке к экзамену.

В ходе изучения дисциплины, применяются следующие образовательные технологии:

- лекционные и практические занятия, групповые дискуссии (с использованием интерактивного оборудования – проектор, доска).

Формой промежуточной аттестации по дисциплине является экзамен в пятом семестре.

#### **4.1. Литература и учебно-методическое обеспечение**

##### **4.1.1. Основная учебная литература**

1. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е. и др. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. – М. Ижевск : Ин-т компьютерных исследований, 2003. – 529 с.

2. Киселев Г.Л. Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие / Г. Л. Киселев. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 316 с. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/130188>. – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Кузнецов А.П., Кузнецов С.П., Рыскин Н.М. Нелинейные колебания: Учеб. пособие для вузов. – М.: Физматлит, 2005. – 292 с. – Текст : электронный // Электронная библиотека ТГУ. – URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000213352/000213352.pdf>. – Режим доступа: доступно в локальной сети ТГУ.

4. Ланда П.С. Нелинейные колебания и волны. – Москва : ЛИБРОКОМ, 2010. – 551 с.

5. Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н. Осмысленная научная деятельность: диссертанту – о жизни знаний, защищаемых в форме положений / под ред. А.В. Войцеховского. – М. : РИОР: ИНФРА-М, 2020. – 148 с. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1036377>. – Режим доступа: по подписке.

#### 4.1.2. Дополнительная литература

1. Алексеева И.Ю., Аршинов В.И. Информационное общество и НБИКС-революция. – М. : ИФ РАН, 2016. – 196 с. – Текст : электронный. – URL: <https://iphras.ru/uplfile/root/biblio/2016/alekseeva/Alekseeva.pdf>. – Режим доступа: свободный.

2. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Шиманский-Гайер Л. Динамическое и статистическое описание колебательных систем. – М. [и др.] : Регулярная и хаотическая динамика, 2005. – 143 с.

3. Владимиров С.Н., Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н. Нелинейно-динамическая криптология: радиофизические и оптические системы / Под ред. С.Н. Владимирова. – М.: Физматлит, 2009. – 208 с. – Текст : электронный // Электронная библиотека ТГУ. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000390242>. – Режим доступа: доступно в локальной сети ТГУ.

4. Горохов В.Г. Сложные системы как объект исследования в макро- и наносистемотехнике // Синергетическая парадигма: Синергетика инновационной сложности. – М.: Прогресс-Традиция, 2011. – С. 210–236. – Текст : электронный. – URL: [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_005384338\\_191803/](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_005384338_191803/) – Режим доступа: в электронных читальных залах библиотек-участников НЭБ.

5. Измайлов И.В., Лячин А.В., Пойзнер Б.Н. Детерминированный хаос в моделях нелинейного кольцевого интерферометра. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. – 256 с.

6. Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н. Аксиоматическая схема исследования динамических систем: от критериев их растожествления к самоизменению. – Томск: STT, 2011 – 570 с. – Текст : электронный // Электронная библиотека ТГУ. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000423310>. – Режим доступа: доступно в локальной сети ТГУ.

7. Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н. О науке, событиях в истории изучения света, колебаний, волн, об их исследователях, а также глоссы и этимоны : учеб. пособие / под ред. А.В. Войцеховского. – Томск: ИД ТГУ, 2015. – 410 с. (Электронная версия доступна в сети ТГУ. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000503100> – Режим доступа: доступно в локальной сети ТГУ).

8. Каку М. Будущее разума. – М. : Альпина нон-фикшн, 2015. – 455 с.

9. Калиткин Н.Н. Численные методы. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2014. – 586 с. То же: Калиткин Н.Н. Численные методы. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. – 586 с.

10 Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. – М.: Физматлит, 2003 – 496 с. – Текст : электронный // Электронная библиотека ТГУ. – URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000170062/000170062.djvu>. – Режим доступа: доступно в локальной сети ТГУ.

11. Кившарь Ю.С., Агравал Г.П. Оптические солитоны: От волоконных световодов до фотонных кристаллов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 648 с.

12. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. – М.: Наука, 1987. – 422 с. – Текст : электронный // Электронная библиотека ТГУ. – URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000087007/000087007.djvu>. – Режим доступа: доступно в локальной сети ТГУ.

13. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр.. – М. : Физматлит, 2002. – 316 с. То же: Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр.. – М. : Наука. Физматлит, 2001. – 316 с.

14. Синергетика: Антология / Научный ред., составитель, автор переводов и вступ. ст. Е.Н. Князева. – М.; СПб. : Центр гуманитарных инициатив, 2013 – 480 с. – Текст : электронный // Электронная библиотека ТГУ. – URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2017/000564470/000564470.pdf> – Режим доступа: доступно в локальной сети ТГУ.

15. Синергетическая парадигма: Социальная синергетика : сборник. [Вып. 6 / ред.-сост. О. Н. Астафьева, В. Г. Буданов] ; Российская акад. наук, Ин-т философии. – Москва : Прогресс-Традиция, 2009. – 688 с. – Текст : электронный // Электронная библиотека ТГУ. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000384164> – Режим доступа: доступно в локальной сети ТГУ.

#### **4.2. Базы данных и информационно-справочные системы, в том числе зарубежные**

1. Электронный ресурс SPIE Digital Library: <http://www.spiedigitallibrary.org>
2. Электронный ресурс Optics Infobase: <http://www.opticsinfobase.org/>
3. Электронный ресурс SpringerLink: <http://link.springer.com/>
4. Электронный ресурс “Отечественные и зарубежные ресурсы” (подписка по договорам НБ ТГУ с правообладателями на текущий учебный год). URL: <http://lib.tsu.ru/ru/elektronnye-resursy>
5. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. URL: <http://elibrary.ru/>
6. Электронные ресурсы свободного доступа, размещенные на сайте библиотеки в разделе “Ссылки Интернет”: <http://lib.tsu.ru/ru/ssylki-internet>.
7. Электронная библиотека ТГУ. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>.

### **4.3. Перечень лицензионного и программного обеспечения**

- Microsoft Office 2010 Russian Academic Open, Microsoft Windows Professional 7 Academic Open (Лицензия №47729022 от 26.11.2010);
- пакет программного обеспечения РТС MathCad Education (Договор поставки №7193 от 14.10.2015);
- прочее открытое программное обеспечение для оформления рефератов и презентаций, поиска информации в сети Интернет.

### **4.4. Оборудование и технические средства обучения**

При освоении дисциплины используются презентации по отдельным разделам дисциплины, интерактивное оборудование в учебных аудиториях с мультимедиа-проекторами и досками для проведения лекций и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Используются компьютерные классы: с доступом к ресурсам Научной библиотеки ТГУ, в том числе отечественным и зарубежным периодическим изданиям, и сети Интернет; с рабочими местами, имеющими необходимое программное обеспечение, используются для выполнения расчётов и работы студентов с ресурсами сети Интернет.

## **5. Методические указания обучающимся по освоению дисциплины/модуля**

Для успешного освоения дисциплины рекомендуется: познакомиться со структурой курса, используя рабочую программу; повторить материал предыдущего занятия, используя свои записи, конспекты; своевременно выполнять самостоятельную работу (готовиться к практическим занятиям), выделяя на неё достаточное количество времени. При подготовке к занятиям необходимо фиксировать в виде вопросов сложные и непонятные аспекты темы, искать ответы на них в литературе (см. разделы 4.1, 4.2.), задавать вопросы своим коллегам и преподавателю на занятиях, вести себя активно. Пробелы в пройденных темах могут негативно сказаться на понимании следующих разделов дисциплины.

## **6. Преподавательский состав, реализующий дисциплину**

Измайлов Игорь Валерьевич, кандидат физ.-мат. наук, доцент.

## **7. Язык преподавания – русский.**