

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
президиумом  
Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«14» декабря 2021 г. № 4

Рабочая программа дисциплины (модуля)

**Нелинейное фазирование**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

**Бакалавриат**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

**Направление подготовки**

**03.03.03 Радиофизика**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Радиофизика и электроника**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

**Бакалавр**

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

**Очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2022 год

## 1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Нелинейное фазирование» относится к дисциплинам по выбору вариативной части (блок Б1.В.ДВ2) основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика» (уровень бакалавриата) на радиофизическом факультете ННГУ. Дисциплина изучается в 7-м семестре бакалавриата.

### Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у студентов представлений о применении некоторых фундаментальных явлений, изучаемых методами теории колебаний, в технической физике;
- умение использовать методы теории колебаний для решения современных задач технической физики.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-3 способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности  этап освоения - заключительный	З1 (ОПК-3). Знание фундаментальных разделов радиофизики, необходимых для исследования явлений синхронизации и фазирования в ансамблях автогенераторов
ПК-2 способность использовать основные методы радиофизических измерений  этап освоения - заключительный	З1 (ПК-2) Знание новейшего отечественного и зарубежного опыта в исследовании вопросов применения эффектов нелинейной динамики в задачах радиофизики У1 (ПК-2) Умение самостоятельно ставить научные задачи в области использования синхронизации и хаотической динамики в прикладных задачах В1 (ПК-2) Владение навыками анализа динамики систем синхронизации

## 3. Структура и содержание дисциплины «Нелинейное фазирование»

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа практические занятия семинарского типа, 1 час зачет), 39 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

## Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)			В том числе													
				Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы									Самостоятельная работа обучающегося, часы				
	из них																
	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего			Всего			Очная	Очно-заочная	Заочная					
Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная			
Цифровые системы синхронизации и фазирования	8					4						4			4		
Аналоговые системы синхронизации и фазирования	9					4						4			5		
Динамика системы фазовой автоподстройки частоты с различными фильтрами	9					4						4			5		
Схемы нелинейного фазирования в ансамблях автогенераторов. Устойчивость режима синхронизации	10					5						5			5		
Недостатки систем нелинейного фазирования	10					5						5			5		
Эффекты кластерной и «модовой» синхронизации в цепочке автогенераторов	9					4						4			5		

Динамический хаос. Характеристики хаотических колебаний	10					5						5			5		
Хаотическая синхронизация. Использование хаоса для передачи информации	10					5									5		
В т.ч. текущий контроль	2					2											
Промежуточная аттестация - Зачет																	

#### 4. Образовательные технологии

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме лекционных занятий.

**Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций**

**используемые на занятиях лекционного типа:**

- лекции с проблемным изложением учебного материала.

#### 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы – основная и дополнительная литература.

##### 5.1 Вопросы, которые должны быть проработаны в ходе самостоятельной работы

1. Цифровая система частотно-фазовой автоподстройки. Расчет устойчивости системы. Остаточная разность фаз и частот при линейном и квадратичном дрейфе частоты.
2. Электрооптическая система фазовой стабилизации в волоконном усилителе. Остаточная разность фаз. Расчет устойчивости для фильтра второго порядка, фильтра с интегратором.
3. Влияние задержки в электрооптической цепи автоподстройки на устойчивость системы (возникновение автомодуляционного режима). Пример системы стабилизации фазовых флюктуаций в оптоволоконной линии связи для передачи эталонных единиц времени и частоты.
4. Система фазовой автоподстройки частоты, вывод уравнения модели. Остаточная разность фаз и пример точной подстройки фазы. Расчет устойчивости.
5. Динамика системы фазовой автоподстройки частоты с фильтром первого порядка в цепи управления (модель сверхпроводящего джозефсоновского контакта). Понятие полосы удержания и захвата, существование режима бистабильности.
6. Электронное управление лучом в фазированных антенных решетках (ФАР). Активные ФАР. Схема синхронизации автогенераторов общим опорным сигналом и

- схема каскадного соединения автогенераторов. Расчет пределов поворота диаграммы направленности.
7. Фазирование в цепочке взаимосвязанных автогенераторов. Существование и устойчивость режима синхронизации с линейным градиентным распределением фаз вдоль цепочки. Расчет устойчивости для связей с инерционностью первого порядка.
  8. Характерное время установления синхронного режима и влияние ошибки управляющих параметров на точность синхронизации в схемах нелинейного фазирования.
  9. Кластерная синхронизация в цепочке взаимосвязанных генераторов с линейным градиентным распределением собственных частот.
  10. «Модовая» синхронизация в цепочке взаимосвязанных генераторов с линейным градиентным распределением собственных частот.
  11. Понятие динамического хаоса. Характеристики хаотических колебаний, ляпуновские показатели.
  12. Схемы генерации хаотических колебаний радиодиапазона.
  13. Хаотическая синхронизация. Различные виды хаотической синхронизации и их характеристики.
  14. Схемы передачи информации, использующие хаотическую несущую.

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

- 6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, навыков), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

**ОПК-3 способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиоп физики, необходимых для решения научно-исследовательских задач.**

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знание фундаментальных разделов радиоп физики, необходимых для ис-	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и по-

следования явления синхронизации и фазирования в ансамблях автогенераторов							грешностей
--	--	--	--	--	--	--	------------

**ПК-2 способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта.**

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знание новейшего отечественного и зарубежного опыта в исследовании вопросов применения эффектов нелинейной динамики в задачах радиофизики	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Умение самостоятельно ставить научные задачи в области	Отсутствует способность решения стандартных задач	Наличие грубых ошибок при решении стандартных задач	Способность решения основных стандартных задач с существенными ошибками	Способность решения всех стандартных задач с незначительными по-	Способность решения всех стандартных задач без ошибок	Способность решения стандартных и некоторых нестандартных	Способность решения стандартных задач и широкого круга нестан-

использования синхронизации и хаотической динамики в прикладных задачах				грешностями	и погрешностей	задач	дартных задач
---	--	--	--	-------------	----------------	-------	---------------

## 6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания

Предусмотрена процедура аттестации обучающихся в форме зачета в конце семестра. Отводимое на подготовку ответов время – около 1 академического часа. Шкала оценивания имеет два значения: зачет, незачет. Итоговый контроль сформированности компетенций в виде знаний обеспечивается ответами на контрольные вопросы, в виде умений и навыков – защитой отчета о лабораторной работе.

Критерии оценок:

Зачтено	Обучающийся после подготовки с использованием конспекта лекций может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, знает основные понятия и определения из материала дисциплины.
Не зачтено	Студент после подготовки с использованием конспекта лекций не может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, либо не знает основные понятия и определения из материала дисциплины.

## 6.3. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

1. Цифровая система частотно-фазовой автоподстройки. Пример системы формирования группового сигнала эталонной частоты.
2. Электрооптическая система фазовой стабилизации в волоконном усилителе. Остаточная разность фаз. Задача когерентного сложения мощностей в решетке оптоволоконных усилителей.
3. Влияние задержки в электрооптической цепи автоподстройки на устойчивость системы (возникновение автомодуляционного режима). Пример системы стабилизации фазовых флуктуаций в оптоволоконной линии связи.
4. Система фазовой автоподстройки частоты, вывод уравнения модели. Остаточная разность фаз и пример точной подстройки фазы.

5. Динамика системы фазовой автоподстройки частоты с фильтром первого порядка в цепи управления (модель сверхпроводящего джозефсоновского контакта). Понятие полосы удержания и захвата, существование режима бистабильности.
6. Электронное управление лучом в фазированных антенных решетках (ФАР). Активные ФАР. Схема синхронизации автогенераторов общим опорным сигналом и схема каскадного соединения автогенераторов.
7. Фазирование в цепочке взаимосвязанных автогенераторов. Существование и устойчивость режима синхронизации с линейным градиентным распределением фаз вдоль цепочки.
8. Характерное время установления синхронного режима и влияние ошибки управляющих параметров на точность синхронизации в схемах нелинейного фазирования.
9. Кластерная синхронизация в цепочке взаимосвязанных генераторов с линейным градиентным распределением собственных частот.
10. «Модовая» синхронизация в цепочке взаимосвязанных генераторов с линейным градиентным распределением собственных частот.
11. Понятие динамического хаоса. Характеристики хаотических колебаний, ляпуновские показатели.
12. Схемы генерации хаотических колебаний радиодиапазона.
13. Хаотическая синхронизация. Различные виды хаотической синхронизации и их характеристики.
14. Схемы передачи информации, использующие хаотическую несущую.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

а) основная литература:

1. Кузнецов С.П. Динамический хаос. Москва: Физматлит, 2001.
2. Пиковский А.С., Розенблюм М.Г., Куртс Ю. Синхронизация: фундаментальное нелинейное явление. М.: Техносфера, 2003.

б) дополнительная литература:

3. Афраймович В.С., Некоркин В.И., Осипов Г.В., Шалфеев В.Д. Устойчивость, структуры и хаос в нелинейных сетях синхронизации. – Горький: ИПФ АН СССР, 1989.

<http://www.iapras.ru/biblio/haos.html>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Лекционные аудитории.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению радиофизика.

Автор \_\_\_\_\_ Мишагин К.Г.

Рецензент \_\_\_\_\_ Осипов Г.В.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Матросов В.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «09» декабря 2021 года, протокол № 07/21.