

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

решением ученого совета ННГУ

протокол от

«31» мая 2023 г. № 6

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)

Нижегород

2023 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 (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции*  (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-1. Способен осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	ПК-1.1. Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры ПК-1.2. Осваивает новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	Знание фундаментальных разделов радиофизики, необходимых для исследования явлений синхронизации и фазирования в ансамблях автогенераторов	Задача, собеседование
ПК-2. Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных	ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических	Знание новейшего отечественного и зарубежного опыта в исследовании вопросов	Задача, собеседование

исследований в области радиофизики	явлений и оценке полученных результатов. ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи. ПК-2.3. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики.	применения эффектов нелинейной динамики в задачах радиофизики Умение самостоятельно ставить научные задачи в области использования синхронизации и хаотической динамики в прикладных задачах 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							Самостоятельная работа обучающегося, часы					
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы												
	из них							Всего	Очная	Очно-заочная	Заочная				
	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Очная	Очно-заочная	Заочная	Всего								
	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

### ПК-1

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знание фундаментальных разделов радиофизики, необходимых для исследования явлений синхронизации и фазирования в ансамблях автогенераторов	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

### ПК-2

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знание новейшего отечественного и за-	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных	Знание основного материала с незначитель-	Знание основного материала без ошибок	Знание основного и дополнительного ма-

рубежно-го опыта в исследовании вопросов применения эффектов нелинейной динамики в задачах радиофизики				погрешностей	ными погрешностями	и погрешностей	териала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Умение самостоятельно ставить научные задачи в области использования синхронизации и хаотической динамики в прикладных задачах	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 погрешностями	Способность решения всех стандартных задач без ошибок и погрешностей	Способность решения стандартных и некоторых нестандартных задач	Способность решения стандартных задач и широкого круга нестандартных 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 дис-
---------	---

	циплины.
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 флюктуаций 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 «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.