

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
ИММАНУИЛА КАНТА**

**Институт физико-математических наук и
информационных технологий**

«Утверждаю»

Директор ИФМН и ИТ

д.ф.-м.н., проф. Юров А.В.

«___» _____ 2021 г.

Согласовано»

Руководитель службы обеспечения
образовательного процесса

к.п.н., доц., Полупан К. П.

«___» _____ 2021 г.

Рабочая программа

по дисциплине

«ФАЗИРОВАННЫЕ АНТЕННЫЕ СИСТЕМЫ»

направление подготовки

11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи»

направленность программы

«Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

для аспирантов 4 года обучения

Калининград

2021 г.

Лист согласования

Составитель: д.ф.-м.н., профессор, профессор института физико-математических наук и информационных технологий

_____ *Пахотин В.А.*

Программа обсуждена и утверждена на заседании учебно-методического совета института физико-математических наук и информационных технологий. Протокол № ____ от « ____ » _____ 2021 г.

Председатель учебно-методического совета _____ первый заместитель директора института, к.ф.-м.н., доцент, Шпилевой А. А.

Программа пересмотрена на заседании учебно-методического совета института физико-математических наук и информационных технологий.

Внесены следующие изменения (или изменений не внесено) _____

_____ Протокол № ____ от « ____ » _____ 2021 г.

Ведущий менеджер ООП _____ Бурмистров В.И.

Содержание.

1. Пояснительная записка -----	3
2. Тематический план -----	7
3. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации аспирантов по дисциплине «Фазированные антенные системы» -----	9
4. Ресурсное обеспечение -----	9
5. Перечень информационных технологий, используемых при обучении -----	10
6. Описание материально – технической базы-----	10
7. Язык преподавания -----	11
8. Преподаватель -----	11
9. Приложение 1. Оценочные средства по дисциплине-----	12
1. Пояснительная записка-----	12
2. Показатели , критерии и шкалы оценивания сформированности компетенции -----	12
3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций -----	13
4. Типы и виды заданий -----	14

1. Пояснительная записка

Цель освоения программы аспирантуры **Фазированные антенные системы** направления подготовки **03.06.01 Физика и астрономия** – подготовка квалифицированного исследователя, преподавателя-исследователя, обладающего системой универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций, способного и готового для самостоятельной профессиональной деятельности.

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения программы аспирантуры (компетенциями выпускников):

ПК-3: готовностью к проведению измерений с использованием радиотехнического оборудования.

Цель данной дисциплины является изучение общих принципов оптимальной обработки пространственных сигналов.

Задачи дисциплины:

- глубокое изучения разделов различных дисциплин по изучению принципов построения комплексов аппаратуры и анализа полученных результатов;
- обобщение широкий круг вопросов по радиотехнике, радиофизике, и с единой точки зрения рассматривает вопросы обработки пространственных и пространственно временных сигналов, анализ и синтез современных комплексов аппаратуры

1.1. Основные требования к начальной подготовке, необходимые для успешного изучения дисциплины «Фазированные антенные системы» в аспирантуре.

Основные знания, необходимые для изучения аспирантом дисциплины «Фазированные антенные системы», формируются при изучении:

№ п/п	Предшествующая дисциплина	Знания, умения и владения обучающегося
Магистерская программа «Системы и комплексы оптических измерений и контроля»		
1.	Оптимальный прием и обработка сигналов	<p>знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные понятия, представления и определения линейного пространства сигналов и теории оптимального приема; • структуру и принцип работы основных радиотехнических комплексов аппаратуры; • методологию анализа принятых комплексами сообщений и синтеза оптимальных приемников; • методологию решения общих задач обработки информации в комплексах аппаратуры: задачу обнаружения сигнала, задачу различения сигналов, задачу оценки параметров сигналов, задачу разрешения подобных сигналов, задачу фильтрации сигналов; <p>умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> • проводить анализ, как отдельных частей комплексов аппаратуры, так и в целом на предмет оптимальности обработки информации; • проводить синтез оптимальных приемников обработки информации; <p>владения:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методологией обработки информации, связанной с решением следующих задач: задачей оптимального обнаружения сигнала, задачей различения сигналов, задачей оценки параметров сигнала, задачей разрешения подобных сигналов, задачей фильтрации.
2	Системы кодирования и сжатия информации	<p>знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основных методов расчета, анализа и синтеза систем передачи и обработки информации; • основы теории выбора, формирования сигналов, кодирования и декодирования источников сообщений и каналов связи; <p>иметь навыки:</p> <ul style="list-style-type: none"> • проведения научно-технических расчетов характеристик систем связи; <p>владения:</p> <ul style="list-style-type: none"> • практическими навыками реализации схемных решений.
Магистерская программа «Прикладные радиофизические исследования атмосферы и ионосферы»		
	Статистическая теория распространения радиоволн	<ul style="list-style-type: none"> • знать статистическую теорию распространения электромагнитных волн; • уметь излагать методы анализа статистических характеристик полей, распространяющихся в среде с

		<p>флуктуациями диэлектрической проницаемости, по заданным статистическим характеристикам флуктуаций диэлектрической проницаемости.</p> <ul style="list-style-type: none"> • владеть методами описания статистических характеристик полей в режимах слабых и сильных флуктуаций амплитуды и знать границы их применимости.
	<p>Асимптотические методы в теории распространения электромагнитных волн</p>	<ul style="list-style-type: none"> • знать основные асимптотические методы решения задач распространения электромагнитных волн в неоднородных средах; • знать влияния неоднородности среды на электромагнитные поля. • иметь представление о возможностях использования асимптотических методов для решения задач радиосвязи и обратных задач распространения на коротких волнах; • уметь использовать асимптотические методы в профессиональной деятельности • владеть методами построения приближенных решений дифференциальных уравнений, описывающих распространение электромагнитных волн в неоднородных средах.
	<p>Теория распространения радиоволн</p>	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные методы расчета волновых полей в околоземном пространстве; • особенности распространения радиоволн различных диапазонов вдоль земной поверхности; • закономерности поглощения и преломления радиоволн молекулами атмосферных газов и гидрометеорами; <p>уметь</p> <ul style="list-style-type: none"> • выполнять расчеты электромагнитных полей ОНЧ-диапазона в волноводе Земля-ионосфера; • рассчитывать лучевые траектории электромагнитных волн в неоднородной ионосфере; • выполнять расчеты ослабления и рефракции радиоволн СВЧ - ГВЧ диапазонов на наземных и космических трассах; • определять физические параметры радиометрических систем для исследования природных ресурсов Земли и мониторинга экологической обстановки. <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • физическими основами дистанционного зондирования природной среды с поверхности Земли и с ИСЗ.

		<ul style="list-style-type: none"> Знаниями в области распространения радиоволн в околоземном пространстве, в том числе в тропосфере и ионосфере Земли.
--	--	--

1.2. Компетенции, формируемые у аспиранта в результате освоения дисциплины «Фазированные антенные системы»

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции
1	ПК-3	готовностью к проведению измерений с использованием радиотехнического оборудования

1.3. Перечень знаний, умений и навыков аспиранта в результате освоения дисциплины «Фазированные антенные системы»

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-3	<p>В результате освоения компетенции аспирант должен:</p> <p>Знать – основные характеристики антенно-фидерных устройств, способы формирования необходимых распределений полей излучения; основы антенных измерений и согласование антенн; теорию волноводных линий передачи энергии.</p> <p>Уметь – выполнять инженерные расчеты фидерных линий передачи энергии, основных параметров антенных систем.</p> <p>Владеть практическими навыками работы с измерительной аппаратурой при эксплуатации антенной техники, проведения экспериментальных исследований характеристик антенн; пользования соответствующими справочными источниками и компьютерными технологиями при расчетах антенно-фидерных устройств.</p>

2. Тематический план

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа, из которых 18 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа), 54 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе						
		Контактная работа (во взаимодействии с преподавателем), часы					Сам. работа аспиранта, часы	
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, практические, контрольные занятия и др)		Всего
1. Линейное пространство	12	6					6	43

<p>сигналов. Понятия: сигнал, пространственно- временной сигнал. Введение линейного пространства сигналов. Энергия сигнала, норма сигнала. Представление сигналов в виде векторов. Ортогональные и противоположные сигналы. Коэффициент корреляции между сигналами. Корреляционная функция между сигналами. Орто нормированные базисы. Разложение произвольных сигналов по ортонормированным базисам. Обобщенное преобразование Фурье. Дискретный и непрерывный спектральный анализ. Угловой спектральный анализ. Корреляционный анализ. Метод обработки ортогональных сигналов. Метод обработки неортогональных сигналов.</p>									
<p>2. Фазированные антенные системы. Сканирующие антенные решетки. Управление диаграммой направленности фазированных антенных решеток(ФАР). Схемы последовательного и параллельного питания излучателей ФАР. Распределители квази- оптического типа. Эффекты в секторе сканирования ФАР: закон косинуса для изменения КНД, рассогласование излучателей, искажение диаграммы направленности, “ослепление” ФАР. Многолучевые антенные решетки. Диаграммообразующие</p>	12	6						6	43

устройства: последовательные (матрица Бласса), параллельные (матрица Батлера), комбинированные (матрица Нолена).								
3. Многоканальные антенные системы. Основы пространствен- ной обработки сигналов. Многоканальная обра- ботка пространственных сигналов. Простран- ственно-временная обработка сигналов.	12	5					5	43
4. Оптимальный алгоритм обработки пространственно временных сигналов. Определение сигнала в линейном пространстве сигналов. Определение сигнала в случае плоской волны. Определение сигнала в случае сферической волны. Основные понятия и термины, используемые при обработке пространственно- временных сигналов.	12	5					5	43
5. Оценка дисперсии угловых характеристик сигнала. Частотный диапазон	12	6					6	42
6. Оптимальное расположение вибраторов антенной системы	12	6					6	42
ИТОГО	72 / 32Е					34		46
Промежуточная аттестация	Зачет							

3. Оценочные средства для проведения аттестации аспирантов по дисциплине «Фазированные антенные системы»

Оценочные средства приведены в Приложении 1 к настоящей рабочей программе.

4. Ресурсное обеспечение

4.1. Перечень основной и дополнительной литературы Основная литература

1. Шпилевой, А. А. Теория антенно-фидерных устройств систем связи: учеб. пособие/ А. А. Шпилевой, В. Е. Пониматкин; Балт. федер. ун-т им. И. Канта. - Калининград: БФУ им. И. Канта, 2011.

Дополнительная литература

1. Пониматкин, В. Е. Антенно-фидерные устройства систем связи: учеб. пособие/ В. Е. Пониматкин, А. А. Шпилевой. - Калининград: РГУ им. И. Канта, 2010. - 120, [1] с. - Библиогр.: с. 119 (13 назв.).
2. Нефедов, Е. И. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учеб. пособие для сред. проф. образования/ Е. И. Нефедов. - М.: Академия, 2006. - 320 с.:
3. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: Учебник для вузов / Г. А. Ерохин [и др.] ; ред. Г. А. Ерохин. - 3-е изд.. - Москва: Горячая линия-Телеком, 2007. - 491 с.

4.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. ЭБС Кантиана (<https://elib.kantiana.ru/>).
2. ЭБС Znanium (<https://new.znanium.com/catalog/document?id=333215>)
3. ЭБС «IPRbooks» (<http://www.iprbookshop.ru/>)
4. ЭБС «Лань» (<http://e.lanbook.com/>)
5. «Национальная электронная библиотека» (<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/>).
6. ЭБС «Айбукс.ру/ibooks.ru» (<http://ibooks.ru/>)
7. ЭБС ЮРАЙТ (<https://www.biblio-online.ru/>)
8. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>)

5. Перечень информационных технологий, используемых при обучении

В ходе преподавания дисциплины «Фазированные антенные системы» применяются следующие информационные технологии, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

–технические средства: компьютерная техника и средства связи (персональные компьютеры, проектор, интерактивная доска, видеокамеры и пр.);

–методы обучения с использованием информационных технологий (демонстрация мультимедийных материалов и пр.);

–перечень интернет-сервисов и электронных ресурсов (поисковые системы, электронная почта, профессиональные, тематические чаты и форумы, системы видео- и аудиоконференций, он-лайн энциклопедии и справочники). Институт обеспечен лицензионным программным обеспечением.

На вебсайте БФУ им. И. Канта представлены следующие ЭБС и информационные базы данных:

–<https://elibrary.ru>, Научная электронная библиотека.

–<http://www.rsl.ru/> Российская государственная библиотека

–<http://www.biblioclub.ru/> Университетская библиотека онлайн

6. Описание материально-технической базы

1. Лекционная аудитория на 80 человек со средствами мультимедиа в составе: экран, проектор EPSON EB-450W, моноблок MSI AE 222 G.

2. Инженерный компьютерный класс с выходом в сеть интернет в составе: рабочая станция Fujitsu Celsius W530 Power -12 шт; монитор DELL U2412M -12 шт; ИБП Back UPS APC 1100 -12 шт; проектор Promethean DLP; интерактивная доска Promethean Active Board; Телевизор LG 50LN540V, LG 55LA643V.

7. Язык преподавания

Русский

8. Преподаватель (преподаватели)

д.физ.-мат.н., профессор, профессор института физико-математических наук и информационных технологий **Пахотин В.А.**

**Оценочные средства
по дисциплине
«Фазированные антенные системы»**

1. Пояснительная записка

Основными этапами формирования компетенций при изучении дисциплины «Фазированные антенные системы» являются последовательное изучение содержательно связанных между собой разделов (тем) учебных занятий. Изучение каждого раздела (темы) предполагает овладение необходимыми компетенциями. Результат аттестации на различных этапах формирования компетенций показывает уровень освоения компетенций. Планируемые результаты обучения по дисциплине - знания, умения, навыки и опыт деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций и обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения программы аспирантуры.

1.1. Перечень компетенций и этапы их формирования

Этапы формирования компетенций	Код контролируемой компетенции (или её части)	Оценочные средства по этапам формирования компетенций по дисциплине	
		текущая аттестация (ТА)	промежуточная аттестация (ПА)
Тема 1. Линейное пространство сигналов.	ПК-3	Самостоятельная работа аспиранта	Примерный перечень вопросов к зачету
Тема 2. Фазированные антенные системы.	ПК-3	Самостоятельная работа аспиранта	Примерный перечень вопросов к зачету
Тема 3. Многоканальные антенные системы.	ПК-3	Самостоятельная работа аспиранта	Примерный перечень вопросов к зачету
Тема 4. Оптимальный алгоритм обработки пространственно временных сигналов.	ПК-3	Самостоятельная работа аспиранта	Примерный перечень вопросов к зачету
Тема 5. Оценка дисперсии угловых характеристик сигнала. Частотный диапазон	ПК-3	Самостоятельная работа аспиранта	Примерный перечень вопросов к зачету

Тема 6. Оптимальное расположение вибраторов антенной системы	ПК-3	Самостоятел ьная работа аспиранта	Примерный перечень вопросов к зачету
---	------	---	--

2. Показатели, критерии и шкалы оценивания сформированности компетенций

2.1 Показатели и критерии оценивания сформированности компетенций

К од компете нции	Планируемые результаты обучения по дисциплине	Показатели и критерии оценивания уровня сформированности компетенций	
		Не зачтено	Зачтено
К-3 П	<p>Знать – основные характеристики антенно-фидерных устройств, способы формирования необходимых распределений полей излучения; основы антенных измерений и согласование антенн; теорию волноводных линий передачи энергии.</p> <p>Уметь – выполнять инженерные расчеты фидерных линий передачи энергии, основных параметров антенных систем.</p> <p>Владеть практическими навыками работы с измерительной аппаратурой при эксплуатации антенной техники, проведения экспериментальных исследований характеристик антенн; пользования соответствующими справочными источниками и компьютерными технологиями при расчетах антенно-фидерных устройств.</p>	<p>текущие задания не выполняются или выполняются частично;</p> <p>даются неверные ответы на вопросы зачета</p>	<p>текущие задания выполняются;</p> <p>даются верные ответы на вопросы зачета</p>

2.2. Шкалы оценивания сформированности компетенций

Итоговой формой контроля знаний, умений и навыков по дисциплине «Фазированные антенные системы» является зачет.

По итогам зачета в 3 семестре аспиранту выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено».

Зачтен о	Выполнены все задания текущей аттестации; даны верные ответы на вопросы итоговой аттестации
Не зачтено	Не выполнено 1 или более задание текущей аттестации; ответы на 1 или более вопросов итоговой аттестации даны не верно

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений, навыков, характеризующая этапы формирования компетенций по дисциплине проводится в форме текущей и итоговой аттестации.

Контроль текущей успеваемости аспирантов – текущая аттестация – проводится в ходе семестра с целью определения уровня овладения компетенциями аспирантами (усвоения знаний; формирования у них умений и навыков); своевременного выявления преподавателем недостатков в подготовке аспирантов и принятия необходимых мер по ее

корректировке; совершенствованию методики обучения; организации учебной работы и оказания аспирантам индивидуальной помощи.

К контролю текущей успеваемости относятся проверка знаний, умений и навыков аспирантов:

- на занятиях (устный опрос).

Контроль за выполнением аспирантами каждого вида работ может осуществляться поэтапно и служит основанием для текущей аттестации по дисциплине.

Итоговая аттестация по дисциплине проводится с целью выявления соответствия уровня теоретических знаний, практических умений и навыков по дисциплине в форме зачета.

Текущий контроль осуществляются на лекционных занятиях.

Каждая форма контроля по дисциплине включает в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень освоения аспирантами знаний и степень сформированности умений и навыков.

Процедура оценивания компетенций аспирантов основана на следующих принципах:

1. Периодичность проведения оценки (на каждом занятии).
2. Многоступенчатость: оценка (как преподавателем, так и аспирантами группы) и самооценка аспиранта, обсуждение результатов и комплекса мер по устранению недостатков.
3. Единство используемой технологии для всех аспирантов, выполнение условий сопоставимости результатов оценивания.
4. Соблюдение последовательности проведения оценки: предусмотрено, что развитие компетенции идет по возрастанию их уровней сложности, а оценочные средства на каждом этапе учитывают это возрастание.

4. Типы и виды заданий

4.1. Самостоятельная работа аспирантов. Разделы, темы, перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы, объём в часах

Разделы и темы самостоятельного изучения	Перечень заданий для самостоятельной работы (рефераты, доклады, переводы, расчеты, планирование эксперимента и т.п.)	Трудоемкость, час.
1	Обзор ортогональных базисных функций в линейном пространстве	2
2	Частотный спектральный анализ: основа, практическое использование	2
3	Корреляционный анализ: основа, практическое использование	4
4	Угловой спектральный анализ: основа, практическое использование	4
5	Корреляционный анализ ЛЧМ – сигналов	4
6	Корреляционный анализ сигналов на основе кодов Баркера	4
7	Системы пеленгации: принцип работы, методы оптимальной оценки амплитуды, азимута, угла места	4
8	Системы радиолокации: принцип работы, методы оптимальной оценки дальности до цели	6
9	Системы радиолокации: принцип работы, методы оптимальной оценки азимута	6

10	Системы радиолокации: принцип работы, методы оптимальной оценки скорости цели	6
11	Системы локации с использованием сигналов ЛЧМ	6
12	Системы локации с использованием сигналов на основе кодов Баркера	6
ИТОГО		54

4.2. Примерный перечень вопросов к зачету

1. Типы многоканальных и фазированных антенных систем и их классификация.
2. Основные характеристики антенных систем: поляризация поля излучения, комплексная характеристика направленности, коэффициент направленного действия, коэффициент усиления, относительный уровень боковых лепестков, ширина диаграммы направленности по уровню нулевого излучения, по половинной мощности, по полю, энергетические характеристики: предельная мощность, коэффициент полезного действия, шумовая температура, характеристики управления, эффективная поверхность рассеяния.
3. Общая характеристика антенн с обработкой сигнала. Частотное и фазовое сканирование.
4. Общая характеристика активных фазированных антенных решеток (АФАР).
5. Характеристики направленности линейных антенных решеток: множитель направленности линейной антенной решетки, условие единственности главного максимума, УБЛ, ширина ДН.
6. Характеристики направленности плоских антенных решеток: множитель направленности линейной антенной решетки, условие единственности главного максимума, УБЛ, ширина ДН.
7. Коэффициент направленного действия фазированных антенных систем.
8. Взаимное влияние излучателей в составе многоканальных и фазированных антенных систем.
9. Геометрические характеристики линейных и плоских АР.
10. Типы излучателей ФАР. Конструкция и основные параметры.
11. Способы широкоугольного согласования ФАР.
12. Частотные свойства ФАР.
13. Основные соотношения для линейной антенной решетки с частотным сканированием.
14. Волноводно-щелевые решетки: назначение, особенности, основные параметры.
15. Согласование волноводно-щелевой решетки с питающим волноводом.
16. Совмещенные двухчастотные ФАР: схемы построения, расчет характеристик.
17. Общая характеристика вибраторных ФАР и частотно-селективных структур.
18. Печатные излучатели ФАР: конструкции и принцип действия, основные параметры.
19. Классификация и общая характеристика ферритовых фазовращателей ФАР.
20. Типы и общая характеристика волноводно-щелевых делителей мощности ФАР.
21. Классификация и общая характеристика широкополосных разделительно-суммирующих устройств, применяемых в ФАР.
22. Оптимальные системы излучателей с электронным движением луча в одной плоскости. Основные схемы построения.
23. Оптимальные системы с двумерным движением луча.
24. Цифровая интеллектуальная ФАР: структура, основные алгоритмы обработки, преимущества.

