

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»  
(ТУСУР)**

**Электроника, радиотехника и системы связи**

Учебно-методическое пособие по практическим занятиям для  
аспирантов, обучающихся по направлению подготовки:

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

(профиль: Антенны, СВЧ-устройства и их технологии)

очная форма обучения

**А.С. Аникин**

**Томск - 2019**

## Содержание

<b>Введение</b> .....	3
<b>1. Общие требования</b> .....	4
<b>2. Техническое обеспечение практических работ</b> .....	4
<b>3. Цели и задачи дисциплины</b> .....	4
<b>4. Требования к результатам освоения дисциплины</b> .....	6
<b>5. Прием результатов выполнения практических заданий</b> .....	7
<b>6. Задания для практических занятий</b> .....	8
<b>7. Индивидуальное задание</b> .....	10
<b>8. Библиографический список</b> .....	11
<b>Приложение 1</b> .....	12
<b>Приложение 2</b> .....	15

## **Введение**

Практические занятия предназначены для закрепления материала, полученного аспирантами очной формы обучения при самостоятельном изучении материалов настоящей дисциплины и получения практических навыков расчёта параметров и характеристик антенно-фидерных устройств и систем, углубленному изучению физических основ построения и функционирования микроволновых антенно-фидерных устройств и систем, необходимых для проведения фундаментальных и прикладных научных исследований и создания передовых разработок в области создания антенн и устройств СВЧ диапазона.

Полученные навыки и знания могут быть полезны при проектировании и разработке передовых антенно-фидерных устройств, а также при получении навыков организации работы исследовательского коллектива в области создания антенн и фидерных линий с целью выработки новых методов исследования и их применения в научно-исследовательской деятельности, а также при обеспечении освоения преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования.

## **1. Общие требования**

Практические занятия проводятся согласно учебному расписанию отдельно для каждой группы аспирантов. В ходе практических занятий аспирант выполняет практическое задание, полученное от преподавателя. Практические задания выполняются аспирантами индивидуально под контролем со стороны преподавателя.

Все консультации осуществляются преподавателем. Для успешного выполнения практических заданий целесообразно в учебном расписании для практических занятий выделять 2 академических часа.

## **2. Техническое обеспечение практических работ**

Для выполнения практического задания аспиранту предоставляется индивидуальное рабочее место, в состав которого входят:

- персональный компьютер с операционной системой Windows 7;
- программное обеспечение MATLAB/SciLAB.

Размещение и освещенность рабочих мест в учебной аудитории (лаборатории) должно удовлетворять действующим требованиям СанПиН.

## **3. Цели и задачи дисциплины**

Целью дисциплины является:

- изучение истории, современного состояния и перспектив развития антенн, устройств СВЧ и технологий их изготовления, фундаментальных основ разработки, исследования,

функционирования устройств СВЧ и антенн, предназначенных для передачи и приёма электромагнитных волн;

- овладение аспирантами методологией теоретических и экспериментальных исследований, культурой научного исследования в области антенн и устройств СВЧ, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий;
- освоение аспирантами навыками организации работы исследовательского коллектива в области антенн и устройств СВЧ с целью выработки новых методов исследования и их применения в научно-исследовательской деятельности;
- обеспечить освоение преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования.

#### Задачи дисциплины:

- углубленно изучить фундаментальные основы физических принципов построения и функционирования устройств СВЧ и антенн;
- понимать основные фундаментальные знания в области физики работы устройств СВЧ и антенн, а также знать физические и математические модели функционирования этих устройств;
- освоить новые методы исследования и их применение к научно-исследовательской деятельности в области функционирования устройств СВЧ и антенн;
- овладеть методологией теоретических и экспериментальных исследований и культуры научного исследования и синтеза математических моделей функционирования устройств СВЧ и антенн;
- научиться организовывать работу исследовательского коллектива в области функционирования устройств СВЧ и антенн;
- освоить преподавательскую деятельность в области высшего образования.
- получение и углубление знаний по методам расчёта основных параметров и характеристик устройств СВЧ и антенн, а также по основам их проектирования.

#### 4. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование у аспирантов следующих компетенций:

– *ОПК-1* владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности

– *ОПК-2* владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий

– *ОПК-3* способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности

– *ОПК-4* готовность организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности

– *ОПК-5* готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** современное состояние и перспективы развития устройств и антенн СВЧ, фундаментальные основы функционирования устройств и антенн СВЧ, основные подходы к расчёту параметров и характеристик антенно-фидерных устройств и систем, физические основы построения и функционирования микроволновых антенно-фидерных устройств и систем; новые методы исследования и их применение для исследований физических процессов распространения электромагнитных полей применительно к разработке антенно-фидерных устройств и систем, методологию теоретических и экспериментальных исследований в области антенн и устройств СВЧ.

– **уметь** аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику расчёта устройств СВЧ и антенн; применять методы расчета параметров и характеристик фидерной

линии СВЧ диапазона; применять методы моделирования и проектирования устройств и антенн СВЧ; анализировать информацию о новых моделях и способах построения устройств и антенн СВЧ; самостоятельно осуществлять постановку задачи исследования; формировать план реализации исследований, выбирать методы исследования; организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности; уметь вести преподавательскую деятельность по основным образовательным программам высшего образования.

– **владеть** основными методами расчёта параметров и характеристик микроволновых антенно-фидерных устройств, антенн и систем; физической интерпретацией и объяснением результатов расчётов микроволновых антенно-фидерных устройств и систем; основными приемами обработки и предоставления экспериментальных данных; методологией теоретических и экспериментальных исследований новейших антенно-фидерных устройств, антенн, культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.

## **5. Прием результатов выполнения практических заданий**

Результаты выполнения практических заданий оформляются в виде отчета. За выполнение каждого задания преподаватель выставляет аспиранту оценку по пятибалльной системе. Оценка выполнения задания складывается с весовыми коэффициентами из 5-балльных оценок по следующим критериям:

1. Время выполнения задания. Фиксируется с момента получения задания до момента сдачи отчета. Измеряется в астрономических часах. Сравнивается с нормативным временем выполнения. Весовой коэффициент оценки - 30%

2. Полнота и правильность реализации алгоритмов, предусмотренных заданием. Экспертная оценка преподавателя. Вклад в итоговую оценку аспиранта – 50%.

3. Аккуратность при составлении отчета. Вклад в итоговую оценку аспиранта – 20%.

Во время приема выполненной работы преподаватель вправе:

- Требовать у аспиранта демонстрации выполнения алгоритмов.

- Самостоятельно производить манипуляции с программным обеспечением, не изменяя его конфигурацию.

- Требовать у аспиранта реализации алгоритмов.

Преподаватель должен объявить аспиранту поставленную ему оценку за выполнение задания, а в случае возникновения непонимания, объяснить причины ее выставления. В случае, если оценка ниже 4 баллов, аспирант имеет право повторно предъявить исправленный отчет, но не более двух раз.

При этом для вычисления оценки время, затраченное на исправление, прибавляется к общему времени выполнения задания.

Отчеты о выполнении практических заданий сохраняются преподавателем до конца учебного года.

Выставленная оценка влияет на оценку аспиранта при выставлении итоговой оценки за практические занятия.

До конца семестра аспирант должен получить оценку по всем заданиям, предусмотренным настоящими указаниями. За работы, результаты выполнения которых не были предъявлены преподавателю для оценивания, выставляется оценка 0 (нуль) баллов. Аспиранты, имеющие итоговую оценку за практические занятия ниже 3 баллов, к сдаче зачета по предмету не допускаются.

## **6. Задания для практических занятий**

Задания выполняются последовательно. Приступить к следующему занятию аспирант имеет право, только предъявив для оценивания результат выполнения предыдущего задания.

Наименование практических занятий (семинаров) приведено ниже:

1. Роль и назначение антенно-фидерных устройств. Параметры и режимы в линиях передачи (дисперсионная характеристика, затухание, электрическая прочность, волновое сопротивление, КБВ и др.). Линии – двухпроводные, коаксиальные, полосковые, щелевые, полые волноводные, волноводные

диэлектрические, линии с поверхностной волной, волоконно-оптические линии – трудоемкость 8 часов.

2. Фильтры с распределёнными параметрами и способы их реализации. Объёмные резонаторы. Аттенюаторы, фазовращатели, поляризаторы, делители мощности, циркуляторы, направленные ответвители применения – трудоемкость 8 часов.

3. Волновой и классический подходы. Виды матриц (рассеяния, сопротивлений, проводимостей, передачи) и соотношения между ними. Ограничения на элементы матриц, налагаемые условиями взаимности, симметрии и недиссипативности. Каскадные соединения многополюсников. Принцип декомпозиции – трудоемкость 6 часов.

4. Щелевая антенна в экране. Диаграмма направленности и проводимость излучения щели. Щелевой излучатель в стенке прямо-угольного волновода. Типы полосковых печатных антенн и способы их возбуждения и ускоряющих линзах. Одно- и двухзеркальные антенны, оптимизация их характеристик. Антенны с вынесенным облучателем. Спутниковые передающие антенны с контурными зонами обслуживания. Конструкции, применения – трудоемкость 8 часов.

5. Организация преподавательской деятельности (виды контактной работы, организация самостоятельной работы, учебно-методическое обеспечение, педагогика и психология). Источники основных образовательных программ высшего образования в области антенн и устройств СВЧ. Образовательные стандарты, профессиональные отраслевые стандарты – трудоемкость 4 часа.

6. Методы индивидуальных теоретических и экспериментальных исследований, интеграция в научное сообщество, организация работы исследовательского коллектива. Порядок выполнения научно-исследовательских работ (НИР). Результаты НИР. Научная этика. Культура научных исследований – трудоемкость 6 часа.

## 7. Индивидуальное задание

Для формирования основы диссертационного исследования необходим полноценный обзор литературы. Постановка вопросов к поиску литературы неразрывно связано с постановкой цели и задач диссертационного исследования, а также названия диссертации.

Аспирантам предлагается сформулировать и обсудить с научным руководителем:

- предварительное название диссертационной работы;
- цель диссертационного исследования;
- задачи диссертационного исследования.

На основании этих данных необходимо выполнить обзор литературы, включая патентный поиск. Результатом такого обзора является:

- краткое описание каждого источника и указание выводов, полученных в источнике с указанием ссылки на источник;
- анализ источников с точки зрения решаемых в диссертации задач.
- обобщение результатов обзора;
- выявление особенностей или условий решения задач, приведённых в источнике литературы;
- список литературы (источников).

После обзора литературы следует выявить необходимость дополнительных исследований (моделирования, проведения экспериментов) для достижения цели диссертационной работы.

Результатом индивидуального задания является отчёт, содержащий указанные выше требования.

## 8. Библиографический список

### *Основная литература*

Основы теории и проектирования ВЧ- и СВЧ-устройств на регулярных связанных линиях передачи: Учебное пособие / А. Г. Лоцилов, Н. Д. Малютин - 2018. 136 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/8281>.

### *Дополнительная литература*

Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток: учебное пособие для вузов/ Д. И. Воскресенский [и др.]; ред. Д. И. Воскресенский. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Радиотехника, 2012. - 744 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)

### *Обязательные учебно-методические пособия*

1. Основы научно-исследовательской деятельности: Учебное пособие по дисциплине «Научно-исследовательская деятельность» для обучающихся в аспирантуре / Д. В. Озеркин, Е. М. Покровская - 2018. 187 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/7831>

изменить удалить

2. Информационные и электронные ресурсы в организации научных исследований: Учебно-методическое пособие по практической и самостоятельной работе / Е. М. Покровская - 2018. 13 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/7289>

изменить удалить

3. О самостоятельной работе обучающихся в бакалавриате, специалитете, магистратуре, аспирантуре: Учебно-методическое пособие / С. В. Мелихов, В. А. Кологривов - 2018. 9 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/7627>

## Приложение 1

### *Вопросы зачета*

1. Современное состояние и перспективы развития антенн и устройств СВЧ.

2. Классификация антенн и устройств СВЧ.

3. Обзор устройств антенн и устройств СВЧ и их место в радиотехнических устройствах и системах связи.

4. Линии передачи: понятие; регулярные, нерегулярные, однородные, неоднородные. Открытые, закрытые – их достоинства и недостатки, применения. Примеры.

5. Радиолиния: понятие, структурная схема, примеры. Достоинства и недостатки по сравнению с фидерными линиями. Принцип электродинамического подобия и его использование при расчетах и экспериментальных исследованиях.

6. Полосковые и микрополосковые линии: разновидности, волна основного типа, её длина и фазовая скорость, волновое сопротивление, погонные параметры, структура поля.

7. Волноводы прямоугольного сечения. Типы волн, критические длины волн. Волна основного типа, условие ее существования, структура поля, характеристическое и волновое сопротивления, передаваемая мощность. Технология изготовления и стандарты. Применения.

8. Волноводы круглого сечения. Типы волн, критические длины волн. Волна основного типа, условие её существования, структура поля, характеристическое и волновое сопротивления, передаваемая мощность. Технология изготовления. Применения.

9. Линии передачи с поверхностной волной. Понятие поверхностной волны, ее длина и фазовая скорость, структура поля. Примеры реализаций ЛП с поверхностной волной и применения.

10. Волоконно-оптические линии. Строение волокон, их размеры, длины волн, физические явления при распространении, технологии производства. Понятие солитона и солитонные режимы.

Преимущества, применения, перспективы.

11. Диапазоны длин волн. Понятие СВЧ. Типы применяемых в различных диапазонах фидеров. Понятия эквивалентных линий и схем. Волновой и классический подходы, связь между ними.

12. Коэффициент отражения от нагрузки, КБВ, КСВ, сопротивление линии и соотношение между ними. Поведение модуля коэффициента отражения в идеальных и реальных линиях. Резонансные сечения, значения в них напряжённости полей и сопротивлений.

13. Формула трансформации сопротивлений с пояснениями. Эквивалентные сечения и расстояния между ними.

14. Эквидистантные линейные АР. Способы подавления дифракционных максимумов.

15. Волноводные щелевые антенные решётки. Типы щелей. Резонансные и нерезонансные АР. Устройство, принцип действия, применения.

16. Рупорные антенны. Конструкции, принцип действия, применения.

17. Линзовые антенны на замедляющих и ускоряющих линзах. Устройство, принцип действия, применения.

18. Антенна на основе линзы Люнеберга. Конструкция, принцип действия, применение.

19. Параболические однозеркальные антенны. Апертурный метод расчёта. Конструкции, принцип действия, применения.

20. Параболические двухзеркальные антенны Кассегрена и Грегори. Метод расчёта. Конструкции, принцип действия, применения.

21. Входное сопротивление отрезка фидера, значения в случае реактивных нагрузок. Понятие шлейфов, их входные сопротивления, применения.

22. Технологические требования к техническим параметрам антенн и устройств СВЧ.

23. Методы индивидуальных теоретических и экспериментальных исследований, интеграция в научное сообщество, организация работы исследовательского коллектива.

24. Порядок выполнения научно-исследовательских работ

(НИР).

25. Результаты НИР.

26. Научная этика.

27. Культура научных исследований.

28. Организация преподавательской деятельности (виды контактной работы, организация самостоятельной работы, учебно-методическое обеспечение, педагогика и психология).

29. Источники основных образовательных программ высшего образования в области антенн и устройств СВЧ.

30. Образовательные стандарты, профессиональные отраслевые стандарты.

## Приложение 2

### *Тестовые задания*

1. Эксперимент, в котором задействованы только математические и/или имитационные модели, носит название:

- а) физического эксперимента;
- б) математического эксперимента;
- в) технического эксперимента;
- г) вычислительного эксперимента.

2. Средства массовой коммуникации выполняют социализирующие функции:

- а) социально-нравственную;
- б) социально-эстетическую;
- в) социально-эмоциональную;
- г) рекреативную, релаксационную;
- д) коммуникативную.

3. Виды социализации, в процессе которых молодежь усваивает социальные роли:

- а) стихийная, направляемая, контролируемая;
- б) дотрудовая, трудовая, послетрудовая;
- в) полоролевая, семейно-бытовая, профессионально-трудовая, субкультурно-групповая;
- г) идентификация, индивидуализация, персонализация.

4. Самостоятельное осознанное нахождение смыслов выполняемой работы и всей жизнедеятельности в конкретной культурно-исторической (социально-экономической) ситуации - это...

- а) профессиональный выбор;
- б) профессиональный план;
- в) профессиональный отбор;
- г) профессиональное самоопределение.

5. По какому закону при изменении частоты изменяются потери в металлах?:

а) при увеличении частоты уменьшаются по линейному закону

б) при увеличении частоты растут пропорционально корню квадратному из частоты

в) при увеличении частоты растут линейно

г) уменьшаются при увеличении частоты пропорционально корню квадратному из частоты

д) не меняются

6. По какому закону при изменении частоты изменяются потери в диэлектриках?:

а) при увеличении частоты уменьшаются по линейному закону

б) при увеличении частоты растут пропорционально корню квадратному из частоты

в) при увеличении частоты растут линейно

г) уменьшаются при увеличении частоты пропорционально корню квадратному из частоты

д) не меняются

7. Толщина скин-слоя - это:

а) толщина оксидной плёнки, образующейся на поверхности металла

б) глубина проникновения поля в металл с увеличением его амплитуды в  $e$  раз

в) глубина проникновения поля в металл с уменьшением его амплитуды в  $e$  раз

г) глубина проникновения поля в металл с уменьшением его амплитуды в 2 раза

8. По какому закону при изменении частоты изменяется толщина скин-слоя?:

а) при увеличении частоты уменьшается по линейному закону

б) при увеличении частоты растёт пропорционально корню квадратному из частоты

в) при увеличении частоты уменьшается экспоненциально

г) при увеличении частоты уменьшается пропорционально корню квадратному из частоты

д) не меняется

9. Резонансные сечения в ЛП – это сечения, в которых:

а) компоненты напряженности полей имеют вещественные значения

б) компоненты напряженности полей принимают максимальные или минимальные значения

в) сопротивление линии равно сопротивлению нагрузки

г) сопротивление линии является вещественным

10. Какому закону изменения волнового сопротивления подчиняются широкополосные плавные переходы?:

а) кубическому

б) логарифмическому

в) экспоненциальному

г) квадратичному

11. Какова длина ступени ступенчатого согласованного перехода?:

а)  $\lambda$

б)  $\lambda/2$

в)  $\lambda/4$

г)  $\lambda/8$

12. В закрытых резонаторах возможны только такие колебания, для которых по длине резонатора укладывается целое число:

а)  $\lambda$

б)  $\lambda/2$

в)  $\lambda/4$

г)  $2\lambda$

13. К четырехполюсникам относятся:

а) фильтры

б) нагрузки

в) делители мощности

г) направленные ответвители

14. Какие типы апертурных антенн в радиодиапазон пришли из оптики?:

а) волноводные излучатели

б) рупорные антенны

- в) антенны на замедляющих линзах
- г) антенны на ускоряющих линзах
- д) зеркальные антенны

15. Какой профиль имеет малое зеркало в классической схеме Кассегрена?:

- а) сферический
- б) параболический
- в) гиперболический
- г) эллиптический

16. Какой профиль имеет малое зеркало в классической схеме Грегори?:

- а) сферический
- б) параболический
- в) гиперболический
- г) эллиптический

17. Квадратичные фазовые искажения в апертурных антеннах приводят к:

- а) отклонению главного лепестка ДН относительно оси антенны
- б) уширению главного лепестка ДН
- в) заплыванию нулей
- г) провалу в направлении максимума ДН

18. Кубические фазовые искажения в апертурных антеннах приводят к:

- а) отклонению главного лепестка ДН относительно оси антенны
- б) асимметрии боковых лепестков относительно главного
- в) повышению уровня боковых лепестков
- г) провалу в направлении максимума ДН

19. У какой из антенн в осевом режиме излучения выше направленность?:

- а) у трёхвитковой цилиндрической спиральной антенны
- б) у шестивитковой цилиндрической спиральной антенны
- в) у трёхвитковой конической спиральной антенны

20. У какой из антенн в осевом режиме излучения шире рабочий диапазон?:

- а) у трехвитковой цилиндрической спиральной антенны
- б) у шестивитковой цилиндрической спиральной антенны
- в) у трехвитковой конической спиральной антенны