

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»
(ТвГТУ)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор
по учебной работе
_____ Э.Ю. Майкова
« ____ » _____ 202_ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)»
«Распространение радиоволн»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.

Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.

Типы задач профессиональной деятельности: проектный, научно-исследовательский.

Форма обучения – очная.

Факультет информационных технологий
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Семестр 6

Рабочая программа дисциплины соответствует ОХОП подготовки специалистов в части требований к результатам обучения по дисциплине и учебному плану.

Разработчик программы: проф. кафедры РИС

В.К. Кемайкин

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РИС

« ____ » _____ 20__ г., протокол № ____.

Заведующий кафедрой

С.Ф. Боев

Согласовано

Начальник учебно-методического
отдела УМУ

Д.А. Барчуков

Начальник отдела
комплектования
зональной научной библиотеки

О.Ф. Жмыхова

1. Цели и задачи дисциплины

Цели дисциплины:

Изучение студентами закономерностей распространения радиоволн в различных средах и основных методов расчета радиолиний.

Задачи дисциплины:

- формирование представления о параметрах естественных сред распространения радиоволн; - изучение особенностей распространения радиоволн в различных средах;

- изучение основных методов расчета радиолиний;

- приобретение навыков по применению методов расчета для типичных радиолиний.

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина относится обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)». Для изучения курса требуются знания, умения и навыки, полученные в процессе изучения дисциплин «Физика» и «Электродинамика».

Приобретенные знания в рамках данной дисциплины помимо их самостоятельного значения являются основой для изучения курсов «Устройства генерирования и формирования сигналов», «Устройства сверхвысокочастотные и антенны» и других дисциплин, а также при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

3.1 Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенции, закрепленные за дисциплиной в ОХОП:

ОПК-2. Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения.

Индикаторы компетенций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:

ИОПК-2.1. Осуществляет поиск и предоставление актуальной информации о состоянии предметной области.

Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций

Знать:

З1.1. Основные математические модели электромагнитных волновых процессов, а также модели сред, условия распространения электромагнитных волн в различных средах.

Уметь:

У1.1. Осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию по распространению радиоволн в различных средах и параметрам сред

У1.2. Рассчитывать и анализировать характеристики электромагнитных волн, учитывать условия их распространения в различных средах, влияние параметров среды.

ИОПК-2.2. Применяет физико-математический аппарат, пакеты прикладных программ при проектировании и конструировании радиотехнических систем и комплексов.

Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций

Знать:

32.1. Основные уравнения электромагнитного поля и методы их использования при расчетах простейших структур для изучения электромагнитных волн, условия распространения электромагнитных волн в различных средах.

Уметь:

У2.1. Оценивать влияние среды распространения и используемых антенн на характеристики конкретных радиотрасс;

У2.2. Применять методы математического моделирования радиолиний различных видов по типовым методикам;

У2.3. Обрабатывать экспериментальные данные с использованием современных технологий;

3.2. Технологии, обеспечивающие формирование компетенций

Проведение лекционных и практических занятий.

4. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы

Таблица 1а. Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной работы

Вид учебной работы	Зачетные единицы	Академические часы
Общая трудоемкость дисциплины	4	144
Аудиторные занятия (всего)		60
В том числе:		
Лекции		30
Практические занятия (ПЗ)		30
Лабораторные работы (ЛР)		не предусмотрены
Самостоятельная работа обучающихся (всего)		48+36 (экз)
В том числе:		
Курсовая работа		не предусмотрены
Курсовой проект		не предусмотрены
Расчетно-графические работы		не предусмотрены
Реферат		28
Другие виды самостоятельной работы: - подготовка к защите лабораторных работ		0
Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация (экзамен)		20+36 (экз)

Вид учебной работы	Зачетные единицы	Академические часы
Практическая подготовка при реализации дисциплины (всего)		0

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Структура дисциплины

Таблица 2. Модули дисциплины, трудоемкость в часах и виды учебной работы

№	Наименование модуля	Труд-ть часы	Лекции	Практич. занятия	Лаб. практикум	Сам. работа
1	Общие вопросы распространения радиоволн	20	6	-	-	8+6 (экз)
2	Распространение радиоволн вблизи поверхности Земли	32	6	8	-	10+8 (экз)
3	Структура атмосферы земли. Ионосфера и ее влияние на распространение радиоволн	34	6	8	-	12+8 (экз)
4	Тропосферное распространение радиоволн	32	6	8	-	10+8(экз)
5	Спутниковые линии связи	26	6	6	-	8+6 (экз)
Всего на дисциплину		144	30	30	-	48+36 (экз)

5.2. Содержание дисциплины

МОДУЛЬ 1 «Общие вопросы распространения радиоволн»

Общие вопросы распространения радиоволн. Поле излучателя в свободном пространстве. Уравнение идеальной радиопередачи. Напряженность электрического поля в свободном пространстве. Область пространства, существенная для распространения радиоволн, зоны Френеля. Дифракция радиоволн на плоских экранах.

МОДУЛЬ 2 «Распространение радиоволн вблизи поверхности Земли»

Параметры реальных сред, образующих поверхность Земли. Влияние Земной поверхности на распространение радиоволн. Расстояние прямой видимости. Классификация моделей радиотрасс, проходящих вблизи поверхности Земли для антенн, поднятых над поверхностью Земли. Поле излучателя, поднятого над плоской Землей, интерференционный множитель. Анализ зависимости напряженности электрического поля от угла наблюдения, высот антенн и протяженности радиолинии. Формула Введенского. Учет сферичности Земли. Приведенные высоты. Рассеяние радиоволн шероховатыми поверхностями. Поле электрического вибратора, расположенного вблизи поверхности Земли. О расчете поля в зонах полутени и тени. Поле в непосредственной близости о поверхности Земли и в Земле. Расчет радиолиний вблизи поверхности Земли. Учет отражения от Земной поверхности.

МОДУЛЬ 3 «Структура атмосферы земли. Ионосфера и ее влияние на распространение радиоволн»

Строение ионосферы и источники ионизации. Понятие простого слоя. Диэлектрическая проницаемость ионосферы без учета влияния магнитного поля Земли. Поглощения радиоволн в ионосфере. Фазовая и групповая скорости в ионосфере. Отражение и преломление радиоволн в ионосфере. Условие отражения от ионосферы. Определение траектории волны. Вертикальное и наклонное падение радиоволн на ионосферу, закон секанса. Скачковый способ распространения радиоволн. Данные экспериментальных исследований ионосферы. Метод вертикального зондирования. Расчет линий коротковолнового диапазона. Замирания сигнала в точке приема. Принципы планирования коротковолновой связи. Влияние магнитного поля Земли на электродинамические параметры ионосферы. Тензор диэлектрической проницаемости. Продольное и поперечное распространение радиоволн в ионосфере. Эффект Фарадея, обыкновенные и необыкновенные радиоволны

МОДУЛЬ 4 «Тропосферное распространение радиоволн»

Влияние тропосферы на распространение радиоволн. Строение тропосферы. Диэлектрическая проницаемость. Понятие нормальной тропосферы. Рефракция радиоволн в тропосфере. Эквивалентный радиус Земли. Рассеяние радиоволн на неоднородностях тропосферы. Поглощение радиоволн в тропосфере. Влияние гидрометеоров на распространение радиоволн. Особенности распространения оптического излучения. Расчет радиолиний вблизи поверхности Земли с учетом рефракции и поглощения в тропосфере.

МОДУЛЬ 5 «Спутниковые линии связи»

Особенности РРВ на космических радиолиниях. Выбор частотного диапазона. Характеристики межпланетной среды в Солнечной системе. Влияние тропосферы и ионосферы на работу космических радиолиний.

5.3. Лабораторные работы

Учебным планом лабораторные работы не предусмотрены.

5.4. Практические работы

Таблица 3. Практические работы и их трудоемкость

Модули. Цели ПЗ	Примерная тематика занятий и форма их проведения	Трудоемкость в часах
Модуль 2 Цель: рассчитать влияние Земли на распространение радиоволн.	Расчёт влияния сферичности Земли на распространение радиоволн. Расчёт влияния земной поверхности на распространение радиоволн	8

Модуль 3 Цель: изучение электрические параметров ионосферы.	Структура атмосферы Земли. Ионосфера и ее влияние на распространение радиоволн. Состав и строение ионосферы. Электрические параметры ионосферы.	8
Модуль 4 Цель: рассчитать рефракция радиоволн.	Тропосфера и ее влияние на распространение радиоволн. Электрические параметры тропосферы. Рефракция радиоволн	8
Модуль 5 Цель: рассчитать радиотрасс и рассмотрение примеров расчётов.	Радиолинии: выбор диапазона частот Модели и методы расчета радиотрасс. Примеры расчетов	6

6. Самостоятельная работа обучающихся и текущий контроль их успеваемости

6.1. Цели самостоятельной работы

Формирование способностей к самостоятельному познанию и обучению, поиску литературы, обобщению, оформлению и представлению полученных результатов, их критическому анализу, поиску новых и неординарных решений, аргументированному отстаиванию своих предложений, умений подготовки выступлений и ведения дискуссий.

6.2. Организация и содержание самостоятельной работы

Самостоятельная работа заключается в изучении отдельных тем курса по заданию преподавателя по рекомендуемой им учебной литературе, в подготовке к практическим работам, к текущему контролю успеваемости и подготовке к зачету.

В рамках дисциплины проводятся практические работы по очной форме обучения, которые защищаются посредством тестирования или устным опросом (по желанию обучающегося). Максимальная оценка за каждую выполненную практическую работу – 5 баллов, минимальная – 3 балла.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература по дисциплине

1. Боков, Л. А. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие / Л. А. Боков, В. А. Замотринский, А. Е. Мандель. — Москва : ТУСУР, 2013. — 410 с. — ISBN 978-5-86889-578-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/110405> (дата обращения: 10.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей. - (ID=155450-0)
2. Буянов, Ю. И. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства : учебное пособие / Ю. И. Буянов, Г. Г. Гошин. — Москва : ТУСУР, 2013. — 300 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. —

- URL: <https://e.lanbook.com/book/110376> (дата обращения: 10.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей. - (ID=155451-0)
3. Потапов, Л.А. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие для вузов / Л.А. Потапов. - 2-е изд. - Москва : Юрайт, 2022. - (Высшее образование). - Образовательная платформа Юрайт. - Текст : электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 07.07.2022. - ISBN 978-5-534-05369-2. - URL: <https://urait.ru/book/elektrodinamika-i-rasprostranenie-radiovoln-492079> . - (ID=136082-0)
 4. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие / Д.Ю. Муромцев [и др.]. - 2-е изд. ; доп. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ЭБС Лань. - Текст : электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 15.07.2022. - ISBN 978-5-8114-1637-0. - URL: <https://e.lanbook.com/book/211646> . - (ID=106071-0)

7.2. Дополнительная литература по дисциплине

1. Дмитриев, В.Н. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства в системах подвижной радиосвязи : учебное пособие / В.Н. Дмитриев, О.Н. Пищин. - Астрахань : АГТУ, 2022. - ЭБС Лань. - Текст : электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 07.07.2022. - ISBN 978-5-89154-738-4. - URL: <https://e.lanbook.com/book/322919> . - (ID=155355-0)
2. Костин, М.С. Электродинамика, радиоволновые процессы и технологии : учебное пособие / М.С. Костин, А.Д. Ярлыков. - Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. - ЭБС Лань. - Текст : электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 07.07.2022. - ISBN 978-5-9729-0594-2. - URL: <https://e.lanbook.com/book/192811> . - (ID=147331-0)
3. Общая теория радиолокации и радионавигации. Распространение радиоволн : учебник для вузов / А.Н. Фомин [и др.]. - Красноярск : СФУ, 2017. - ЭБС Лань. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-7638-3738-4. - URL: <https://e.lanbook.com/book/128752> . - (ID=154909-0)
4. Козлов, В. Г. Основы электродинамики и распространение радиоволн : учебное пособие / В. Г. Козлов, А. С. Шостак, В. С. Корогодков. — Москва : ТУСУР, 2012. — 172 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/12185> (дата обращения: 10.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей. - (ID=155452-0)
5. Осипов, О. В. Электродинамика и распространение радиоволн : учебник / О. В. Осипов, Д. П. Табаков, С. В. Морозов. — Самара : ПГУТИ, 2021. — 290 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/301166> (дата обращения: 10.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей. - (ID=155454-0)
6. Скачков, В. А. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие / В. А. Скачков. — Казань : КНИТУ-КАИ, 2020. — 298 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL:

- <https://e.lanbook.com/book/193469> (дата обращения: 10.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей. - (ID=155453-0)
7. Комаров, В. В. Распространение радиоволн в частотно-селективных периодических структурах : учебное пособие для вузов / В. В. Комаров. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 168 с. — ISBN 978-5-8114-8170-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/178991> (дата обращения: 10.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей. - (ID=155455-0)
 8. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства : учебное пособие. — Санкт-Петербург : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2019 — Часть 1 — 2019. — 86 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/180128> (дата обращения: 10.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей. - (ID=155456-0)
 9. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства : учебное пособие. — Санкт-Петербург : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2019 — Часть 2 — 2019. — 90 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/180129> (дата обращения: 10.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей. - (ID=155457-0)

7.3. Методические материалы

1. Учебно-методический комплекс дисциплины обязательной части Блока 1 "Распространение радиоволн". Направление подготовки специалистов - 11.05.01 Радиотехнические системы и комплексы. Направленность (профиль) – Радиолокационные системы и комплексы : ФГОС 3++ / Каф. Радиотехнические и информационные системы ; сост. В.К. Кемайкин. - Тверь, 2022. - (УМК). - Текст : электронный. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/155449> . - (ID=155449-0)

7.4. Программное обеспечение по дисциплине

Операционная система Microsoft Windows: лицензии № ICM-176609 и № ICM-176613 (Azure Dev Tools for Teaching).

Microsoft Office 2007 Russian Academic: OPEN No Level: лицензия № 41902814.

7.5. Специализированные базы данных, справочные системы, электронно-библиотечные системы, профессиональные порталы в Интернет

ЭБС и лицензионные ресурсы ТвГТУ размещены:

1. Ресурсы: <https://lib.tstu.tver.ru/header/obr-res>
2. ЭКТвГТУ: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/Web>
3. ЭБС "Лань": <https://e.lanbook.com/>

4. ЭБС "Университетская библиотека онлайн": <https://www.biblioclub.ru/>
5. ЭБС «IPRBooks»: <https://www.iprbookshop.ru/>
6. Электронная образовательная платформа "Юрайт" (ЭБС «Юрайт»): <https://urait.ru/>
7. Научная электронная библиотека eLIBRARY: <https://elibrary.ru/>
8. Информационная система "ТЕХНОМАТИВ". Конфигурация "МАКСИМУМ" : сетевая версия (годовое обновление): [нормативно-технические, нормативно-правовые и руководящие документы (ГОСТы, РД, СНИПы и др.]. Диск 1,2,3,4. - М. : Технорматив, 2014. - (Документация для профессионалов). - CD. - Текст : электронный. - 119600 р. – (105501-1)
9. База данных учебно-методических комплексов: <https://lib.tstu.tver.ru/header/umk.html>

УМК размещен: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/155449>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

При изучении дисциплины «Распространение радиоволн» используются современное мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

Для проведения лабораторных работ, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется оборудованная учебная лаборатория и аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью

9. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

9.1. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме экзамена

1. Шкала оценивания промежуточной аттестации в форме экзамена – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

2. Критерии оценки за экзамен:

для категории «знать»:

выше базового – 2;

базовый – 1;

ниже базового – 0.

Критерии оценки и ее значение для категории «уметь» (бинарный критерий):

отсутствие умения – 0 балл;

наличие умения – 2 балла.

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

3. Вид экзамена – письменный экзамен.

4. Экзаменационный билет соответствует форме, утвержденной Положением о рабочих программах дисциплин, соответствующих федеральным государственным

образовательным стандартам высшего образования с учетом профессиональных стандартов. Типовой образец экзаменационного билета приведен в Приложении. Обучающемуся даётся право выбора заданий из числа, содержащихся в билете, принимая во внимание оценку, на которую он претендует.

Число экзаменационных билетов – 21. Число вопросов (заданий) в экзаменационном билете – 3.

Продолжительность экзамена – 60 минут.

5. База заданий, предъявляемая обучающимся на экзамене.

1. Классификация радиолиний.
2. Способы распространения радиоволн.
3. Классификация электромагнитных волн.
4. Диапазоны частот.
5. Энергетика радиолинии.
6. Распространение земных волн.
7. Электрические параметры подстилающей земной поверхности.
8. Распространение радиоволн над плоской земной поверхностью при поднятых антеннах, интерференционная формула.
9. Распространение радиоволн над плоской поверхностью Земли.
10. Влияние диаграммы направленности антенны.
11. Учет кривизны Земли.
12. Распространение радиоволн при низкорасположенных антеннах.
13. Приближенные граничные условия Леонтовича.
14. Распространение радиоволн при расположении антенн непосредственно у границы раздела.
15. Формула Шулейкина – Ван-дер-Поля.
16. Дифракция радиоволн над сферической земной поверхностью.
17. Одночленная дифракционная формула.
18. Характеристики показателя преломления тропосферы, стандартная тропосфера.
19. Радиус кривизны луча, тропосферная рефракция, эквивалентный радиус Земли.
20. Типы тропосферных волноводов, условия их возникновения.
21. Характеристики поля в волноводе.

При ответе на вопросы экзамена допускается использование справочными данными, ГОСТами, методическими указаниями по выполнению лабораторных работ в рамках данной дисциплины.

Пользование различными техническими устройствами не допускается. При желании студента покинуть пределы аудитории во время экзамена экзаменационный билет после его возвращения заменяется.

Преподаватель имеет право после проверки письменных ответов на экзаменационные вопросы задавать студенту в устной форме уточняющие вопросы в рамках содержания экзаменационного билета, выданного студенту.

Иные нормы, регламентирующие процедуру проведения экзамена, представлены в Положении о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

9.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме зачета

Учебным планом зачет по дисциплине не предусмотрен.

9.3. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме курсового проекта или курсовой работы

Учебным планом курсовой проект или курсовая работа по дисциплине не предусмотрены.

10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины.

Студенты очной формы обучения перед началом изучения дисциплины должны быть ознакомлены с возможностью получения экзаменационной оценки по результатам текущей успеваемости, с формами защиты выполненных лабораторных работ, а также планом выполнения курсовой работы.

В учебном процесс рекомендуется внедрение субъект-субъектной педагогической технологии, при которой в расписании каждого преподавателя определяется время консультаций студентов по закрепленному за ним модулю дисциплины.

Рекомендуется обеспечить студентов, изучающих дисциплину, электронными учебниками, учебно-методическим комплексом по дисциплине, включая методические указания к выполнению всех видов самостоятельной работы.

Методическое обеспечение по дисциплине, включая методические указания по выполнению практических работ, содержится на сайте университета www.tstu.tver.ru в разделе «Сведения об образовательной организации», подраздел «Образование».

11. Внесение изменений и дополнений в рабочую программу дисциплины

Кафедра ежегодно обновляет содержание рабочих программ дисциплин, которые оформляются протоколами заседаний дисциплин, форма которых утверждена Положением о рабочих программах дисциплин, соответствующих ФГОС ВО.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Распространение радиоволн»
Семестр 6

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:

Распространение радиоволн над плоской поверхностью Земли.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» по разделу «Распространение земных волн» - 0 или 2 балла:

Точечный изотропный источник испускает гармонические звуковые колебания. Найти коэффициент затухания γ волны, если амплитуда колебаний частиц среды на расстоянии r от источника в η раз меньше, нежели на расстоянии r_0 .

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» по разделу «Формула Шулейкина – Ван-дер-Поля» - 0 или 2 балла:

Найти зависимость амплитуды колебаний от параметра α . Построить бифуркационную диаграмму по α и фазовый портрет.

$$x + \ddot{x} = -\mu \frac{d}{dt} [x - 2\{(x - \alpha) - (x - \alpha)^3\}], \quad 0 < \mu \ll 1.$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: проф. кафедры РИС _____ В.К. Кемайкин

Заведующий кафедрой РИС _____ С.Ф. Боев