

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»**

Кафедра радиотехнических систем

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета  
  
И.С. Огнев  
(подпись)

«23» мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Применение аппарата Марковских процессов**  
**для исследования радиофизических систем»**

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по научной специальности  
1.3.4 «Радиофизика»

Форма обучения очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры  
от «18» апреля 2023 года, протокол № 8

Ярославль

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины являются: овладение методами анализа статистических характеристик непрерывных, дискретных и цифровых радиотехнических систем и устройств на основе аппарата Марковских процессов, овладение методами синтеза радиотехнических систем и устройств.

### 2. Место дисциплины в структуре ОП аспирантуры

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору.

Дисциплина имеет логические и содержательно-методические взаимосвязи с другими дисциплинами ОП.

Для изучения дисциплины необходимы «входные» знания, умения, полученные в процессе обучения по программам специалитета, бакалавриата, магистратуры в области методов анализа и синтеза радиотехнических систем и устройств.

### 3. Планируемые результаты освоения дисциплины:

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

*Знать:*

- основы аппарата теории марковских процессов
- условия и области применения моделей процессов в радиотехнических системах в форме марковских цепей, марковских последовательностей, дискретных марковских процессов, непрерывнозначных марковских процессов.

*Уметь:*

- формировать идеализированное представление об объекте и отбрасывать несущественные его свойства;
- строить математические модели объектов в форме уравнений на основе сделанных идеализаций и допущений.
- интерпретировать основные результаты, полученные при решении задач с применением аппарата марковских процессов.

*Владеть:*

- навыками составления математических моделей радиотехнических систем и устройств.
- методами и приемами анализа и синтеза различных радиотехнических систем и устройств с применением аппарата марковских процессов.

### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемо- сти Форма промежуточ- ной аттестации (по семестрам)
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоятельная работа	
1	Введение. Предмет и задачи курса. Математический аппарат.	2	1				10	реферат
2	Цепи Маркова.	2	1	1			10	реферат

3	Марковские последовательности.	2	1	1			10	реферат
4	Дискретные Марковские процессы	2	1	1			5	реферат
5	Непрерывные Марковские процессы.	2	1	1			10	реферат
6	Применение аппарата Марковских процессов в радиотехнических задачах.	2	1	1			15	реферат
7	Применение аппарата Марковских процессов в задачах связи, управления и слежения.	2	2	1		2	20	реферат
		2					12	зачет
	<b>Всего</b>		<b>8</b>	<b>6</b>		<b>2</b>	<b>92</b>	

### Содержание разделов дисциплины

#### Тема 1.

**Введение. Предмет и задачи курса. Математический аппарат.** Вероятностное описание процессов. Условная вероятность перехода. Условная плотность распределения вероятности. Уравнение Колмогорова-Чепмена. Классификация Марковских процессов. Условия применимости Марковских моделей.

#### Тема 2.

**Цепи Маркова.** Уравнение Маркова. Ориентированный граф. Однородные цепи Маркова. Матрица одношаговых вероятностей. Уравнение финальных вероятностей. Поглощающие цепи Маркова. Эргодические цепи Маркова. Простая однородная цепь Маркова с двумя состояниями. Статистическое нацеливание узких диаграмм направленности антенн приемо-передатчиков в системах связи. Автоматическая регулировка порога в самообучающейся схеме обнаружения.

#### Тема 3.

**Марковские последовательности.** Уравнение Колмогорова-Чепмена. Построение условной плотности распределения вероятности. Решение уравнения К-Ч. Аналитические подходы решения. Стационарное решение. Задача о достижении границ.

#### Тема 4.

**Дискретные Марковские процессы.** Дифференциальные уравнения для разрывных Марковских процессов с дискретными состояниями. Пуассоновский поток событий. Процесс гибели и размножения. Элементы теории надежности и массового обслуживания. Импульсные Марковские процессы с дискретными состояниями. Разрывные Марковские процессы с непрерывным множеством состояний.

#### Тема 5.

**Непрерывные Марковские процессы.** Броуновское движение. Уравнение Колмогорова для непрерывных Марковских процессов. Белый шум и винеровский процесс. Связь уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова с дифференциальным стохастическим уравнением. Решение уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова. Задача о достижении границ. Многомерные диффузионные процессы.

#### Тема 6.

**Применение Марковских процессов в радиотехнических задачах.** Границы применимости теории Марковских процессов в радиотехнических задачах. Воздействие шума на колебательный контур. Флуктуации амплитуды и фазы колебаний в автогенераторе. Воздействие шума на детектор с экспоненциальной характеристикой.

#### Тема 7.

**Применение аппарата Марковских процессов в задачах связи, управления и слежения.** Основные соотношения для условных вероятностей состояний Марковского процесса. Фильтрация Марковского процесса с двумя состояниями из белого шума. Фильтрация

Марковского процесса с дискретными состояниями из белого шума. Уравнения фильтрации Марковского сообщения из белого шума и Марковской помехи. Системы связи. Системы управления. Системы слежения.

## **5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения проводятся лекции, практические занятия, в ходе которых используются следующие типы занятий и образовательные технологии.

**Вводная лекция** - ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

**Академическая лекция** (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

**Практическое занятие** – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков, а также получению кратких теоретических сведений. Задействованы: решение задач; коллективная мыслительная деятельность, в т.ч. мозговой штурм; анализ конкретных ситуаций; выступления с презентацией доклада.

**Консультация** – занятие, посвященное консультациям по организации самостоятельной работы, ответам на вопросы студентов или разбору трудных тем.

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ: Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

Учебно-методическое обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав:

### **а) Профессиональные базы данных:**

1. Портал научной электронной библиотеки - <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Федеральная университетская компьютерная сеть России - <http://www.runnet.ru/>

### **б) Информационные справочные правовые системы:**

1. СПС «Консультант-плюс» - <http://www.consultant.ru/>
2. СПС «Гарант» - <http://www.garant.ru/>

## **6. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Ярлыков М. С. Применение марковской теории нелинейной фильтрации в радиотехнике. / М. С. Ярлыков - М.: Советское радио, 1980. - 358 с.
2. Кирьянова, Л. В. Теория случайных процессов / Л. В. Кирьянова, А. Ю. Лемин, Т. А. Матеевич - Москва : Издательство МИСИ - МГСУ, 2017. - 98 с. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785726415840.html>
3. Казаков Л. Н. Статистический анализ цифровых систем радиоавтоматики: учеб. пособие. / Л. Н. Казаков, А. Б. Силантьев; Яросл. высш. зенитное ракетное училище противовоздушной обороны; Военно-воздушная академия - Ярославль: Б.и., 2009. - 164 с.

4. Шахтарин Б. И. Нелинейная оптимальная фильтрация в примерах и задачах: учеб. пособие для вузов. / Б. И. Шахтарин; УМО вузов по университет. политех. образованию - М.: Гелиос АРВ, 2008. - 344 с.

**б) дополнительная литература:**

5. Казаков Л. Н. Математические модели стохастических цифровых систем фазовой синхронизации: Учебное пособие для вузов. / Л. Н. Казаков, М. В. Башмаков; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова - Ярославль: ЯрГУ, 2001. - 152с.
6. Тихонов В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: учеб. пособие для вузов. / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов; УМО по университетскому политехническому образованию - 2-е изд., испр. - М.: Радио и связь : Горячая линия - Телеком, 2004. - 608 с.
7. Тихонов В. И. Марковские процессы. / В.И. Тихонов, М.А. Миронов - М.: Сов. радио, 1977. - 488с.
8. Тихонов В. И. Случайные процессы. Примеры и задачи: учебное пособие для вузов.. Т.1, Случайные величины и процессы. / В. И. Тихонов, Б. И. Шахтарин, В. В. Сизых; УМО вузов по университет. политех. образованию - М.: Радио и связь, 2003. - 399 с.
9. Казаков В. А. Введение в теорию марковских процессов и некоторые радиотехнические задачи. / В. А. Казаков - М.: Советское радио, 1973. - 231 с.

**в) ресурсы сети Интернет:**

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)).
2. Электронная библиотека elibrary.ru.

**7. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Автор:

Зав. кафедрой радиотехнических систем, д.т.н., проф.

Л. Н. Казаков

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Применение аппарата Марковских процессов для исследования радиофизических систем»**

**Оценочные материалы  
для проведения текущей и/или промежуточной аттестации аспирантов  
по дисциплине**

**1. Контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

**Темы рефератов**

1. Статистическое нацеливание узких диаграмм направленности антенн приемопередатчиков в системах связи.
2. Автоматическая регулировка порога в самообучающейся схеме обнаружения.
3. Пуассоновский поток событий.
4. Применение разрывных Марковских процессов в теории надежности.
5. Применение разрывных Марковских процессов в теории массового обслуживания.
6. Импульсные Марковские процессы с дискретными состояниями.
7. Разрывные Марковские процессы с непрерывным множеством состояний.
8. Воздействие белого шума на интегрирующую цепочку.
9. Задача о достижении фиксированных границ.
10. Задача о достижении нефиксированных границ.
11. Воздействие шума на параллельный колебательный контур.
12. Параллельный колебательный контур под воздействием сигнала и шума.
13. Флюктуации амплитуды и фазы колебаний в автогенераторе с трансформаторной обратной связью.
14. Синхронизация генераторов при наличии шума.
15. Система фазовой автоподстройки частоты под воздействием шума.
16. Воздействие шума на амплитудный детектор с экспоненциальной характеристикой.
17. Срыв слежения в простейших системах авторегулирования.
18. Фильтрация Марковского процесса с двумя состояниями из белого шума.
19. Фильтрация Марковского процесса с дискретными состояниями из белого шума.
20. Помехоустойчивость оптимальных методов приема радиосигналов, модулированных непрерывными сообщениями.
21. Оптимальное обнаружение Марковских сигналов на фоне белого шума и Марковских помех при дискретном наблюдении.
22. Оптимальное обнаружение Марковских сигналов на фоне белого шума и Марковских помех при непрерывном наблюдении.

**2. Контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе промежуточной аттестации**

**Вопросы к зачету**

1. Основные понятия и свойства Марковских процессов.
2. Классификация Марковских процессов.
3. Уравнение Колмогорова-Чепмэна для условной плотности вероятности Марковского процесса.
4. Цепи Маркова с конечным числом состояний. Уравнение Маркова.

5. Дискретные Марковские процессы. Уравнение Колмогорова-Чепмэна для вероятностей перехода.
6. Цепи Маркова с бесконечным числом состояний. Марковские последовательности. Уравнение Колмогорова-Чепмэна.
7. Непрерывнозначные Марковские процессы. Уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК).
8. Многомерные Марковские процессы. Уравнение ФПК для многомерных процессов.
9. Основы Марковской теории оценивания в радиолокации.
10. Синтез алгоритмов селекции движущихся целей.
11. Оптимальная оценка траекторий Марковских процессов.
12. Основы Марковской теории оценивания в радионавигации.
13. Синтез и анализ определения координат объекта по сигналам навигационных спутников.
14. Основы Марковской теории оценивания в радиосвязи.
15. Квазиоптимальная фильтрация Марковских последовательностей в многолучевых каналах связи.
16. Импульсные Марковские процессы с дискретными состояниями.
17. Разрывные Марковские процессы с непрерывным множеством состояний.
18. Воздействие белого шума на интегрирующую цепочку.
19. Задача о достижении фиксированных границ.
20. Задача о достижении нефиксированных границ.
21. Воздействие шума на параллельный колебательный контур.
22. Параллельный колебательный контур под воздействием сигнала и шума.
23. Флуктуации амплитуды и фазы колебаний в автогенераторе с трансформаторной обратной связью.
24. Синхронизация генераторов при наличии шума.
25. Система фазовой автоподстройки частоты под воздействием шума.
26. Воздействие шума на амплитудный детектор с экспоненциальной характеристикой.
27. Срыв слежения в простейших системах авторегулирования.
28. Фильтрация Марковского процесса с двумя состояниями из белого шума.
29. Фильтрация Марковского процесса с дискретными состояниями из белого шума.
30. Помехоустойчивость оптимальных методов приема радиосигналов, модулированных непрерывными сообщениями.
31. Оптимальное обнаружение Марковских сигналов на фоне белого шума и Марковских помех при дискретном наблюдении.
32. Оптимальное обнаружение Марковских сигналов на фоне белого шума и Марковских помех при непрерывном наблюдении.
33. Основы Марковской теории оценивания в радиолокации.
34. Синтез алгоритмов селекции движущихся целей.
35. Оптимальная оценка траекторий Марковских процессов.
36. Основы Марковской теории оценивания в радионавигации.
37. Синтез и анализ определения координат объекта по сигналам навигационных спутников.
38. Основы Марковской теории оценивания в радиосвязи.
39. Квазиоптимальная фильтрация Марковских последовательностей в многолучевых каналах связи.

### **3 Критерии выставления оценки**

По окончании освоения дисциплины аспиранту выставляется одна из оценок: «зачтено», «незачтено».

Оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если ответ на вопрос в ходе зачёта соответствует минимум пороговому уровню (см. таблицу критериев оценивания ответов на вопросы).

Если же ответы на вопросы имеют уровень ниже порогового, выставляется оценка «незачтено».

#### Критерии оценивания ответов на вопросы к зачету

Критерий	Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (на «хорошо»)	Высокий уровень (на «отлично»)
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное ( <i>не относящееся к вопросу не подлежит проверке</i> )	Полное	Полное
Полнота ответа	Вопрос билета раскрыт на 50 и более %	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Ответ полный и без ошибок
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Рисунки (если требуются)	Имеются	Корректные	Корректные
Владение методологией	Упомянуты наименования методов	Дается краткое описание методов	Приводится сравнительный анализ различных методов
Критический анализ существующих методов	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов. Приводятся целевые показатели и их перспективное значение.	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов. Приводятся целевые показатели и их перспективное значение. Указываются пути развития методологической базы.

#### Критерии оценивания реферата

Критерий	Пороговый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
Раскрытие темы	Тема раскрыта не полностью, ответ не детализированный, но студент обнаруживает знание и понимание большинства положений и сути рассматриваемых вопросов	Тема раскрыта полностью, но обобщения не конкретизированы	Тема раскрыта полностью, даны правильные представления и суждения по сути и деталям
Логика изложения и аргументация	Изложение непоследовательное	Есть неточности в последовательности изложения	Изложение последовательное
Примеры	Нет примеров	Имеются примеры,	Имеются все необ-



<b>Критерий</b>	<b>Пороговый уровень</b>	<b>Продвинутый уровень</b>	<b>Высокий уровень</b>
		возможно, не все	ходимые примеры
<b>Корректность изложения</b>	Есть ряд неточностей в сути вопроса, не являющихся, однако, существенными	Изложение правильное, но допускается 1 неточность в сути содержания вопросов	Ошибок нет
<b>Владение методологией</b>	Упоминаются наименования методов	Дается краткое описание методов	Приводится сравнительный анализ различных методов
<b>Критический анализ существующих методов</b>	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов. Приводятся целевые показатели и их перспективное значение.	Перечисляются достоинства и недостатки существующих методов. Приводятся целевые показатели и их перспективное значение. Указываются пути развития методологической базы.
<b>Грамотность</b>	Много орфографических и грамматических ошибок	Есть отдельные ошибки	Нет орфографических ошибок, грамматически правильные предложения
<b>Оформление</b>	Ошибки в оформлении	Есть отдельные неточности	Полностью соответствует требованиям