







Институт проблем передачи информации им.А.А.Харкевича РАН  
Программа дисциплины ОД.А.04 «Теория информации и теория кодирования»  
Специальность 01.01.09;05.13.17;(05)\*05.12.13.  
аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича  
Российской академии наук  
ИППИ РАН**

**Рабочая программа дисциплины**

ОД.А.04 «Теория информации и теория кодирования»

для специальности 01.01.09; 05.13.17;(05)\*05.12.13

аспирантура

Разработчик программы:  
К.т.н.-Д.С.Осипов

Одобрена на заседании УС  
«В» сентября 2018г.

Председатель УС

В.И.Венец

(подпись)



Москва  
2018 г



## 1 Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения аспиранта и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности. Программа ОД.А.04 «Теория информации и теория кодирования» предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину, аспирантов для специальности 01.01.09;05.13.17;(05)\*05.12.13.

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- ФГОС ВО для специальности 01.01.09;05.13.17;(05)\*05.12.13
- Учебным планом института по образовательной программе для специальности для специальности 01.01.09;05.13.17;(05)\*05.12.13

## 2 Цели и задачи освоения дисциплины

Цель курса: подготовка аспирантов, владеющих методами теории кодирования и теории информации на высоком профессиональном уровне, позволяющем применять полученные знания для проведения самостоятельных научных исследований и изучения современных телекоммуникационных систем

### Задачи курса:

- обобщить и систематизировать знания аспирантов в области алгебры конечных полей
- дать аспирантам, обучающимся по специальности 01.01.09 “дискретная математика и математическая кибернетика”, общее представление о роли, которую кодирование источника и помехоустойчивое кодирование играют в современных системах передачи и хранения информации, и важнейших результатах в области теории кодирования и теории информации
- сформировать у аспирантов навык самостоятельного построения и использования математических моделей в задачах теории кодирования и теории информации

## 3 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы (108 часа)

### 4 4.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит.	Из аудиторных			Сам. работа		
Лекц.	Лаб.			Прак.	КСР				
1.	Теория информации и теория кодирования	108	36	18		18		72	Кандидатский экзамен

### 4.2. Содержание дисциплины

1. Общая структура системы связи.
2. Информация и неопределенность. Энтропия как мера неопределенности. Собственная информация, связь информации и энтропии. Взаимная энтропия.



3. Кодирование источников. Энтропия, задача кодирования источников, типичные последовательности. Основная теорема кодирования (для источника). Неравномерное кодирование: свойство однозначной декодируемости и свойство префикса, неравенство Крафта, коды Шеннона-Фано, Гилберта-Мура и Хаффмана.
4. Модели каналов: дискретные каналы без памяти. Пропускная способность канала и ее связь со взаимной информацией и скоростью передачи. Основная теорема кодирования (для канала с шумами) и экспонента случайного кодирования.
5. Коды, исправляющие ошибки. Основные параметры кодов, расстояние кода и его связь с корректирующей способностью. Границы существования и не существования кодов
6. Элементы теории групп и конечных полей: абелевы группы, кольца, идеалы, конечные поля. Минимальные функции и циклотомические классы.
7. Классификация кодов. Линейные коды и методы их описания. Методы модификации кодов: удлинение, укорочение, выкалывание, полонение, выбрасывание. Дуальные (двойственные) коды
8. Совершенные коды и коды МДР. Важнейшие классы алгебраических кодов: коды Хэмминга, БЧХ, Рида-Соломона. Декодирование кодов БЧХ и Рида-Соломона.
9. Методы декодирования блочных кодов, использующие оценки надежности.
10. Блочные коды с малой плотностью проверок (МПП коды). Алгоритмы декодирования: мажоритарное декодирование и его модификации, алгоритм “распространения доверия” и его модификации. Граф Таннера МПП кода и связь его свойств с вероятностными характеристиками декодера. Методы анализа блочных МПП кодов.
11. Сверточные коды - основные определения и характеристики. Методы декодирования сверточных кодов: алгоритм Витерби, последовательное декодирование, списочное декодирование, апостериорно-вероятностное декодирование.
12. Сверточные МПП коды: методы их построения и декодирования.
13. Методы комбинирования кодов. Каскадные конструкции на базе блочных кодов.
14. Конструкции турбо кодов и другие каскадные конструкции на базе сверточных кодов.

## 5 Контрольные вопросы

1. Понятие производной для конечномерных отображений.
2. Необходимые и достаточные условия минимума для конечномерной задачи без ограничений.
3. Принцип Лагранжа для конечномерной задачи с ограничениями типа равенств.
4. Принцип Лагранжа для конечномерной задачи с ограничениями типа равенств и неравенств.
5. Необходимые условия экстремума в простейшей задаче вариационного исчисления.
6. Необходимые условия экстремума в задаче Больца.
7. Необходимые условия экстремума в изопериметрической задаче.
8. Необходимые условия экстремума в задаче Лагранжа.
9. Необходимые условия минимума в задаче оптимального управления.



10. Понятие выпуклого множества, выпуклой оболочки множества, выпуклой функции. Основные операции над выпуклыми множествами.
11. Формулировка конечномерной теоремы отделимости для выпуклых множеств.
12. Понятие субдифференциала выпуклой функции. Примеры.
13. Понятие двойственной задачи к данной задаче. Двойственность в линейном программировании.
14. Постановка задачи оптимального восстановления линейного функционала на классе элементов по неточной информации о самих элементах. Примеры.
15. Теорема двойственности для задачи оптимального восстановления линейного функционала.
16. Постановка задачи оптимального восстановления линейного оператора на классе элементов по неточной информации о самих элементах. Примеры.
17. Постановки задач об оптимальных квадратурах, интерполяции и экстраполяции. Двойственные задачи.
18. Постановка задачи и формулировка результата об оптимальном восстановлении значения периодической функции в данной точке по ее неточно заданным коэффициентам Фурье.
19. Постановка задачи и формулировка результата об оптимальном восстановлении значения функции, заданной на прямой, в данной точке по ее неточно заданному преобразованию Фурье.
20. Постановка задачи и формулировка результата об оптимальном восстановлении периодической функции в среднеквадратической метрике по ее неточно заданным коэффициентам Фурье.
21. Постановка задачи и формулировка результата об оптимальном восстановлении функции, заданной на прямой, в среднеквадратической метрике по ее неточно заданному преобразованию Фурье.
22. Постановка задачи и формулировка результата о наилучшем восстановлении решения уравнения теплопроводности по его неточным измерениям в отдельные моменты времени.
23. Постановка задачи и формулировка результата о наилучшем восстановлении решения уравнения теплопроводности по неточно заданным начальным условиям.

## **6 Образовательные технологии**

В качестве образовательных технологий применяются активные образовательные технологии (лекции), а также самостоятельная работа аспирантов под контролем научного руководителя.

## **7 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

Контроль знаний осуществляется в процессе индивидуальной работы с научным руководителем, а также в процессе участия в аудиторных занятиях (доклады, обсуждения).



## 8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1. O. Gazi, Information Theory for Electrical Engineers// Springer; 1st ed 2018 276 p.
2. P. Ivaniš, D. Drajić, Information Theory and Coding - Solved Problems// Springer; 1st ed., 2017 517 p.
3. Б. Д. Кудряшов, Основы теории кодирования// БХВ-Петербург, 2016 г. 400 с.
4. J. Bierbrauer, Introduction to Coding Theory// Chapman and Hall/CRC, 2016 512 p.
5. M. Tomlinson, C. J. Tjhai, M. A. Ambroze, M. Ahmed, M. Jibril, Error-Correction Coding and Decoding - Bounds, Codes, Decoders, Analysis and Applications// Springer; 2017 522 p.

### Авторы

К.т.н.- Д.С.Осипов



Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН  
Программа дисциплины ОД.А.05 «Технологии сотовой связи»  
Специальность– 05.12.13 – Системы, сети и устройства  
аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича  
Российской академии наук  
ИПТИ РАН**

**Рабочая программа дисциплины**

ОД.А.05 «Технологии сотовой связи» **(по выбору)**  
Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций  
и специальность 05.13.17 –Теоретические основы информатики

Разработчики программы:

К.т.н. А.Н.Красилов, к.т.н. Е.М.Хоров

Одобрена на заседании УС  
«03» *сентября* 2018г.

Председатель УС  
В.И.Венец (подпись)



Москва, 2018





Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН  
Программа дисциплины ОД.А.04(05) «Вычислительные основы специального математического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»  
Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации  
аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем передачи информации им. А.А.Харкевича  
Российской академии наук  
ИППИ РАН**

**Рабочая программа дисциплины**

ОД.А.04(05)\* «Вычислительные основы специального математического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»  
Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации  
\*для специальности 05.13.17 –по выбору  
аспирантура

Разработчик программы: К.ф.-м.н. В. В. Волошинов

Одобрена на заседании УС

«01» июня 2016 г.

Председатель УС  
В.И.Венец (подпись)



Москва, 2016



## Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения аспиранта и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа ОД.А.04 (05)\* «Вычислительные основы специального математического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации» предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину, аспирантов для специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации и \*для специальности 05.13.17

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- ФГОС ВО по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника»
- Учебным планом института по образовательной программе для специальности 05.13.01 – «Системный анализ управление и обработка информации и для специальности 05.13.17.

### 1. Цели и задачи освоения дисциплины

**Цель курса** – изложить принципы решения вычислительных задач с учетом особенностей современных технологий построения распределенных вычислительных систем (РВС). Основное внимание уделяется основным подходам к не деталям отдельных технологий, а общим принципам организации вычислений: способам декомпозиции исходной задачи на подзадачи; составления сценария вычислений в РВС; оценки прироста производительности при переходе к распределенному режиму вычислений; основным технологически этапам развертывания программных компонент РВС.

**Основными задачами курса** являются:

1. дать представление о современных тенденциях развития технологий распределенных вычислений с точки зрения решения прикладных задач;
2. привести примеры задач, алгоритмы решения, которых допускают эффективную реализацию в РВС;
3. дать представление о принципах моделирования сценариев распределенных вычислений и основных принципах оценки эффективности и производительности;
4. дать представление о принципах архитектуры и стандартах поддержки распределенных систем на основе объектно-ориентированного промежуточного программного обеспечения (middleware);
5. дать представление о технологическом процессе разработки распределенных систем на примере стандарта (Internet Communication Engine);
6. дать представление об основных принципах защиты данных в РВС на основе современных технологий криптографии.

### 2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единицы (180 час.).



## 2.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР		
1.	Вычислительные основы специального математического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации	180	90	90				90	Кандидатский экзамен

## 2.2. Содержание дисциплины

### Раздел 1. Основные понятия.

1. Место и роль распределенных вычислений в ИТ.
2. Характерные области применения (варианты использования) PBC.
3. Условная классификация способов применения технологий распределенных вычислений для решения задач (High Performance Computing, High Throughput Computing, Data Intensive Computing, Many Task Computing Distributed Systems).
4. Принципы организации и функционирования PBC.
5. Общие правила взаимодействия элементов PBC.
6. «Типовые элементы PBC, выполненных по существующим стандартам.
7. Характерные этапы жизненного цикла PBC (проектирование, программная реализация, развертывание).

### Раздел 2. Примеры вычислительных задач.

1. Суммирование массива чисел. Схема распараллеливания. Оценки эффективности параллельной реализации.
2. Перемножение массива прямоугольных матриц («расстановка скобок»). Принцип динамического программирования в задаче расстановки скобок. Возможные схемы распараллеливания. Оценки эффективности параллельной реализации.
3. Вычисление обратной матрицы. Возможные схемы распределенного сценария вычислений: LU-разложение; блочная декомбинация (дополнение Шура). Оценки эффективности параллельной реализации.

### Раздел 3. Принципы проектирования и реализации PBC на примере OO ППО Ice. Жизненный цикл элементов PBC.

1. Понятие вызова удаленных методов (RPC-Remote Procedure Call).
2. Маршалинг и демаршалинг удаленных вызовов. «Представители» и «каркасы» удаленных объектов. Типичная структура процессов, взаимодействующих в рамках PBC. Синхронные (блокирующие), односторонние и «отложенные» вызовы удаленных объектов.



3. Понятие о ППО как о среде функционирования распределенных систем.
4. ППО, основанное на обмене сообщения – MOM (Message Oriented Middleware).
5. Объектно-ориентированное промежуточное ПО Ice (Internet Communication Engine).
6. «Контактный принцип» проектирования.
7. Основные понятия языка описания интерфейсов Slice.
8. Проектирование интерфейсов на языке Slice.
9. Использование предкомпилятора Ice для отображения интерфейсов в конкретный язык программирования. «Стабы и скелетоны» в Ice.
10. Реализация клиентского и серверного приложений.
11. Преобразование существующего программного ресурса в удаленно доступный сервис на примере системы компьютерной алгебры Maxima.

#### *Раздел 4. Принципы моделирования сценариев вычислений в PBC.*

1. Моделирование сценария в виде графа (операции, зависимости). Понятие расписания выполнения сценария.
2. Сравнение длительности выполнения в PBC с одним процессором, конечным числом процессоров, с неограниченным числом процессоров. Закон Амдала.

#### *Раздел 5. Защита данных в PBC.*

1. Основные проблемы защиты передаваемых данных (конфиденциальность, неизменность, аутентификация).
2. Принципы шифрования на основе закрытого ключа.
3. Принципы систем шифрования с открытым ключом. Алгоритм RSA. Алгоритм Диффи-Хеллмана (протокол обмена секретным ключом).
4. Цифровая подпись и функции хеширования.

#### *Раздел 6. Демонстрационные примеры.*

1. Пример реализации калькулятора на языке Ice. Распределенная система визуализации фрактальных множеств. Пример использования сервиса доступа к системе компьютерной алгебры Maxima.

### **3. Образовательные технологии**

В качестве образовательных технологий применяются активные образовательные технологии (лекции), а также самостоятельная работа аспирантов под контролем научного руководителя,

### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды само-



стоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

Контроль знаний осуществляется в процессе индивидуальной работы с научным руководителем, а также в процессе участия в аудиторных занятиях (доклады, обсуждения).

## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Основная литература

1. В.П. Гергель, Р.Г. Стронгин. Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем, Учебное пособие ~ Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2003. 184 с. (<http://lib.mipt.ru>)
2. Гергель В.П. Теория и практика параллельных вычислений: учебное пособие. - М.: Интернет-Университет ИТ; БИНОМ, 2007. — 423 с. (по материалам сайта <http://lib.mipt.ru>)
3. Конструирование распределенных объектов. Методы и средства программирования интероперабельных объектов в архитектурах OMG/CORBA, Microsoft//COM и Java/RMI. Эммерих В., М.: Мир, 2002.-510 с.
4. Проблемы вычислений в распределенной среде: организация вычислений в глобальных сетях. Сборник трудов ИСА РАН, М.: Эдиториал УРСС, 2004.
5. Интернет Университет ИТ, <http://www.intuit.ru>
6. Кормен Т., Лейзерсон Ч, Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е изд. : Пер. с англ. — М. : Издательский дом "Вильямс", 2005. — 1296 с. (<http://lib.mipt.ru>)
7. Документация по Ice (Internet, Communication Engine),  
<http://www.zeroc.com/doc/Ice-3.2.1/manual/>,  
<http://www.zeroc.com/download.html#doc>
8. Криптография и защита сетей: принципы и практика. Вильямс Столлинг. -М.: Изд. дом "Вильямс", 2001. - 672 с.

### Авторы

К.ф.-м.н. В. В. Волошинов



Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН  
Программа дисциплины ОД.А.03 «Теория передачи сигналов»  
Специальность – 05.12.13 ; 05.13.17  
аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича  
Российской академии наук  
ИППИ РАН**

**Рабочая программа дисциплины**

ОД.А.03 «Теория передачи сигналов»  
Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций  
и специальность 05.13.17;  
аспирантура

Разработчик программы:  
Доцент, к.т.н. В. Б. Афанасьев

Одобрена на заседании УС  
«01» июня 2015г.  
Председатель УС  
В.И. Венед (подпись)



Москва, 2015 г.



## Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения аспиранта и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа ОД.А.03 «Теория передачи сигналов» предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину, аспирантов, обучающихся по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства и специальность 05.13.17 Теоретические основы информатики

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- ФГОС ВО по направлению подготовки 11.06.01 для специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства» и по направлению подготовки 09.06.01 для специальности 05.13.17 Теоретические основы информатики
- Учебным планом института по образовательной программе для специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства» и специальности 05.13.17 Теоретические основы информатики

### 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Курс предназначен для фундаментальной подготовки аспирантов в области теории беспроводной связи.

### 2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы (108 час.).

#### 2.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР		
1.	Теория передачи сигналов	108	36	36				72	экзамен

#### 2.2. Содержание дисциплины

1. Каналы дискретные и непрерывные с ограниченной полосой пропускания: каналы с интерференцией и без интерференции (теорема Найквиста); импульсная реакция и частотная характеристика канала; каналы с линейными и нелинейными искажениями, с аддитивным и мультипликативным шумом.
2. Пропускная способность каналов с аддитивным шумом. Формирование спектра сигналов (принцип «заполнения водой»).
3. Элементы теории дискретных сигналов и каналов связи:



Физически реализуемые сигналы, частотное представление сигналов. Дискретное преобразование Фурье. Дискретная модуляция: АМ, ЧМ, ФМ, КАМ, АФМ.

4. Модели каналов беспроводной связи:  
«Мгновенная» импульсная реакция и частотная характеристика беспроводного канала. Многолучевое распространение сигналов. Доплерово смещение. Нестационарность беспроводного канала. Селективные и общие замирания, каналы с ошибками стираниями и пакетами ошибок.
5. Основы помехоустойчивого кодирования:
6. Коды, исправляющие ошибки: построение, декодирование и модификации кодов, границы скорость-расстояние, спектры расстояний. Циклические коды - построение, свойства и декодирование, коды БЧХ и РС. Исправление пакетов ошибок.
7. Сверточные коды.
8. Представление кодов с помощью графов. Алгоритм декодирования Витерби. Алгоритм декодирования по максимуму апостериорной вероятности.
9. LDPC коды.
10. Построение проверочных матриц и итеративные алгоритмы декодирования.
11. Каскадные кодовые конструкции.
12. Итеративные и каскадные коды (Форни), теорема о кодовом расстоянии, коды Юстессена. Обобщенные каскадные коды Блоха-Зяблова, системы вложенных кодов. Декодирование каскадных кодов, вероятность ошибки. TURBO коды: построение и декодирование.
13. Сигнально-кодовые конструкции (кодовая модуляция).
14. Вложенные системы сигналов в евклидовой метрике. Каскадное построение сложных сигналов. Сигнально-кодовые конструкции MLCM, TCM, VICM. Пространственно-частотно-временные сигнально-кодовые конструкции.
15. Структура модемов беспроводной системы связи.
16. Синхронизация дискретных сигналов и кодов. Синхронизация тактовая, ФАПЧ, скремблирование. Синхронизация кодовых слов, коды с самосинхронизацией.
17. Системы с последовательной передачей элементарных сигналов.
18. Элементарные сигналы с дискретной модуляцией, согласование с каналом. Выравнивание и измерение импульсной характеристики канала. Адаптивное выравнивание канала.
19. Системы с параллельной передачей элементарных сигналов (OFDM).
20. Системы ортогональных поднесущих с дискретной модуляцией. Циклический префикс и согласование с каналом. Измерение «частотной характеристики» канала и коррекция искажений. Адаптивное слежение за характеристикой канала. Обнаружение и коррекция Доплерова смещения.
21. Системы множественного доступа.
22. Системы с временным и частотным разделением, OFDMA. Системы с (пространственно-временным) кодовым разделением. Частотно-временные матрицы кодирования для защиты от преднамеренных помех подавления и имитации.
23. Сложность реализации некоторых элементов систем передачи данных.





**24.** Сложность кодирования линейных блоковых и сверточных кодов. Сложность некоторых алгоритмов декодирования. Сложность декодера Витерби и декодирования по максимуму апостериорной вероятности. Быстрое преобразование Фурье: алгоритмы и сложность.

**25. Контрольные вопросы (примеры)**

1. Искажения сигналов и помехи, источники и характеристики помех (шумов). Формирование спектра сигналов, пропускная способность каналов.
2. Физически реализуемые сигналы, частотное представление сигналов.
3. Дискретное преобразование Фурье. Дискретная модуляция: АМ, ЧМ, ФМ, КАМ.
4. Импульсная реакция и частотная характеристика дискретного канала. Аддитивный и мультипликативный шум, многолучевое распространение сигналов.
5. Модели каналов беспроводной связи.
6. Коды, исправляющие ошибки: построение, декодирование и модификации кодов, границы скорость-расстояние.
7. Циклические коды: построение, свойства и декодирование.
8. Сверточные коды. Представление кодов с помощью графов. Алгоритм декодирования Витерби.
9. LDPC коды. Итеративные алгоритмы декодирования.
10. Итеративные и каскадные коды (Форни), теорема о кодовом расстоянии.
11. Обобщенные каскадные коды Блоха-Зяблова, системы вложенных кодов.
12. Декодирование каскадных кодов, вероятность ошибки. TURBO коды: построение и декодирование.
13. Вложенные системы сигналов в евклидовой метрике.
14. Каскадное построение сложных сигналов. Сигнально-кодовые конструкции MLCM, TCM, VTCM.
15. Пространственно-частотно-временные сигнально-кодовые конструкции.
16. Структура модемов беспроводной системы связи.
17. Синхронизация тактовая, ФАПЧ, скремблирование.
18. Системы с последовательной передачей элементарных сигналов, согласование с каналом.
19. Выравнивание и измерение импульсной характеристики канала. Адаптивное выравнивание канала.
20. Системы с параллельной передачей элементарных сигналов (OFDM).
21. Циклический префикс и согласование с каналом систем OFDM.
22. Измерение «частотной характеристики» канала и коррекция искажений.
23. Адаптивное слежение за характеристикой канала.
24. Демодуляция поднесущих. Обнаружение и коррекция Доплера смещения.
25. Системы множественного доступа с временным и частотным разделением, OFDMA, с (пространственно-временным) кодовым разделением.
26. Частотно-временные матрицы кодирования для защиты от преднамеренных помех подавления и имитации.
27. Сложность кодирования линейных блоковых и сверточных кодов.
28. Сложность некоторых алгоритмов декодирования.



29. Сложность декодера Витерби.

30. Быстрое преобразование Фурье: алгоритмы и сложность.

### 3. Образовательные технологии

В качестве образовательных технологий применяются активные образовательные технологии (лекции), а также самостоятельная работа аспирантов под контролем научного руководителя.

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

Контроль знаний осуществляется в процессе индивидуальной работы с научным руководителем, а также в процессе участия в аудиторных занятиях (доклады, обсуждения).

### 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### Основная литература

1. Габидулин Э.М., Пилипчук Н.И. Лекции по теории информации. М.: МФТИ, 2007.
2. Галлагер Р., Теория информации и надежная связь. М.: Сов. Радио, 1974.
3. В.И. Коржик, Л.М. Финк. Помехоустойчивое кодирование дискретных сообщений в каналах со случайной структурой. М. «Связь», 1975.
4. В.В. Зяблов, Д.Л. Корбков, С.Л. Портной. Высокоскоростная передача сообщений в реальных каналах. – М. : Радио и связь, 1991.
5. Сагалович Ю.Л. Введение в алгебраические коды. М.: МФТИ, 2007.
6. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. М.: Мир, 1986.
7. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1989.
8. Габидулин Э.М., Афанасьев В.Б. Кодирование в радиоэлектронике. М.: Радио и связь, 1986.
9. Касами Т., Токура Н., Ивадари Е., Инагаки Я. Теория кодирования. М.: Мир, 1978.
10. Proakis J.G., Digital Communications. Third edition. McGRAW-Hill, 1995.
11. Морелос-Сарагоса Р., Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. М.: Техносфера, 2005.
12. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений, Москва – 1970, ([capftp@lycos.com](mailto:capftp@lycos.com))
13. Блох Э.Л., Зяблов В.В. Линейные каскадные коды. М.: Наука, 1982.
14. Richard Poisel, Modern Communications Jamming Principles and Techniques, 2 edition, 2011 ARTECH HOUSE.
15. Системы спутниковой связи (журнал).
16. LTE (журнал).
17. Радиорелейная связь (журнал).

#### Авторы

Доцент, к.т.н. В. Б. Афанасьев



Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН  
Программа дисциплины ОД.А.05 «Избранные главы теории вероятностей»  
Специальность– 05.12.13 – Системы, сети и устройства  
аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем передачи информации им. А.А.Харкевича  
Российской академии наук  
ИППИ РАН**

**Рабочая программа дисциплины**

ОД.А.05 «Избранные главы теории вероятностей» (по выбору)  
Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства  
аспирантура

Разработчик программы:  
К.т.н. А. А. Сафонов, д.ф.-м.н. А. Н. Соболевский

Одобрена на заседании УС

« 01 » июня 2016 г.

Председатель УС

В.И.Венец

(подпись)



Москва, 2016 г.



### Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения аспиранта и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа ОД.А.05 «Избранные главы теории вероятностей» (по выбору) предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину, аспирантов, обучающихся по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства»

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- ФГОС ВО по направлению подготовки 11.06.01 для специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства».
- Учебным планом института по образовательной программе для специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства».

### 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины - освоение студентами избранных глав теории вероятностей, в частности, теории массового обслуживания и теории случайных процессов.

Задачи: фундаментальная подготовка студентов в двух областях теории вероятностей: теории массового обслуживания (ТМО) и теории случайных процессов (ТСП); построение у студентов навыков применения ТМО и ТСП в исследовании телекоммуникационных сетей и систем; оказание консультаций студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований телекоммуникационных сетей и систем.

### 2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 час.).

#### 2.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР		
1.	Избранные главы теории вероятностей	180	90	90				90	Кандидатский экзамен

#### 2.2. Содержание дисциплины

1. Элементарные и составные события. Дискретные случайные величины, их распределения и совместные распределения, моменты. Маргинальные и условные распределения. Независимые случайные величины. Производящие функции распределения вероятности и моментов. Поведение производящих функций, мат. ожидания и дисперсии при сложении независимых



- случайных величин. Вывод биномиального распределения методом производящих функций. Вывод распределения Пуассона из биномиального распределения методом производящих функций.
2. Непрерывные случайные величины. Кумулятивная функция распределения вероятности (к.ф.р.), функция плотности вероятности (ф.п.в.) и характеристическая функция распределения вероятности (х.ф.). Абсолютно непрерывные и сингулярные распределения. Совместное распределение, маргинальные и условные распределения в непрерывном случае, формула полной вероятности, независимость. Поведение х.ф., мат. ожидания и дисперсии при сложении случайных величин. Логарифм х.ф. (характеристический показатель) и кумулянты случайной величины. Экспоненциальное распределение, его характеристическое свойство («сколько ни ждешь, осталось ждать еще столько же»). Гамма-распределение как сумма экспоненциальных распределений.
  3. Классификация потоков событий. Пуассоновский поток. Поток Пальма. Прореживание пуассоновских потоков. Помеченный пуассоновский поток. Суперпозиция пуассоновских потоков.
  4. Основные понятия теории массового обслуживания. Формула Литтла. Система M/MU1. Передача в канале без шума и длиной пакетов с экспоненциальным распределением как система M/M/1. Оценка среднего времени ожидания пакета в очереди.
  5. Передача пакетов равной длины по беспроводному каналу с белым шумом как система В/В/1. Входной поток малой интенсивности как оп- off-процесс, передача по каналу как бернуллиевский процесс с вероятностью  $p$ , отражающей уровень шума в канале. Оценка среднего и дисперсии времени передачи пакета и пропускной способности канала в зависимости от уровня шума.
  6. Система M/G/1. Оценка среднего времени ожидания пакета в очереди методом производящих функций.
  7. Предельные теоремы. Среднее выборки и дисперсия выборки. Неравенства Маркова, Чебышева, закон больших чисел. Слабая сходимости случайных величин. Непрерывность х.ф. относительно слабой сходимости (без доказательства, но с обсуждением основных идей). Центральная предельная теорема (вывод с помощью х.ф.). Закон больших чисел в форме Хинчина (через х.ф.),
  8. Нормальное распределение и распределение хи-квадрат. Нормальное распределение, гауссовы векторы. Распределение хи-квадрат, число его степеней свободы. Критерий хи-квадрат. Пример проверки статистической гипотезы: бомбардировки Лондона (по В. Фелдеру)
  9. Цепь Маркова с конечным числом состояний. Граф цепи Маркова и матрица вероятностей перехода. Стационарное распределение цепи Маркова. Принцип детального равновесия, обратимые цепи Маркова.
  10. Моделирование процесса переключения сигнально-кодовых конструкций при передаче в беспроводном канале цепью Маркова. Оценка стационарных вероятностей передачи на каждой СКК.
  11. Обнаружение сетей (network discovery) с помощью биконов. Передача биконов без прослушивания (метод ALOHA) и с прослушиванием беспроводной среды (метод CSMA/CA). Оценка вероятности успешной передачи бикона и среднего числа биконов, переданных за окно



передачи.

12. Эргодическая теорема для цепей Маркова. Существование и единственность стационарного распределения в общей неприводимой непериодической цепи Маркова.
13. Вероятностное пространство, алгебра событий, процессы и потоки алгебр.
14. Случайное блуждание и процесс Винера как его предел.
15. Описание статистики случайного процесса в терминах корреляционных функций. Теорема Колмогорова (без доказательства).
16. Марковские процессы. Уравнение Смолуховского. Диффузионные процессы и уравнение Фоккера-Планка (с выводом).
17. Краевые условия для уравнения Фоккера-Планка. Распределение времени выхода. Равновесное распределение вероятности, обратимость, распределение Гиббса.
18. Марковские процессы со скачками. Уравнение Колмогорова-Феллера.
19. Уравнение Ланжевена. Процесс Орнштейна-Уленбека.
20. Стохастические дифференциальные уравнения. Стохастическое дифференциальное исчисление по Ито и по Стратоновичу.
21. Спектральное разложение случайной функции. Стационарные случайные функции, спектральное условие стационарности.
22. Теорема Винера-Хинчина. Формула Найквиста, "белый" и "цветной" шум.
23. Стационарные случайные процессы и эргодическая теория динамических систем.

#### **Контрольные вопросы**

1. Распределение вероятности на множестве натуральных чисел: каким условиям удовлетворяет, как задается (перечислите все известные вам способы), какими параметрами может быть охарактеризовано.
2. Распределение вероятности на числовой прямой: каким условиям удовлетворяет, как задается (перечислите все известные вам способы), какими параметрами может быть охарактеризовано.
3. Совместное распределение вероятности нескольких случайных величин. Маргинальные и условные распределения, независимость.
4. Моменты и кумулянты случайных величин: определения и формулы для выражения одних через другие.
5. Потоки событий, марковское свойство и рекуррентность.
6. Основные понятия теории массового обслуживания.
7. Передача в канале без шума и длиной пакетов с экспоненциальным распределением как система M/M/1.
8. Передача пакетов равной длины по беспроводному каналу с белым шумом как система V/V/1.
9. Система M/G/1. Оценка среднего времени ожидания пакета в очереди методом производящих функций.
10. Закон больших чисел (формулировка и доказательство при помощи неравенства Чебышева).
11. Центральная предельная теорема (формулировка и доказательство сходимости к характеристической функции нормального распределения).
12. Серия однотипных вопросов о каждом из основных распределений, встречающихся при



решении задач: биномиальное, распределение Пуассона, геометрическое, отрицательное биномиальное, экспоненциальное, гамма-распределение, нормальное распределение, распределение хи-квадрат, распределение Коши. Для каждого распределения надо дать определение или описание вероятностного эксперимента, приводящего к появлению случайной величины, распределенной по данному закону, вид функции плотности вероятности и характеристической функции, формулы для основных статистических характеристик (мат. ожидание, дисперсия, кумулянты первых четырех порядков).

13. Цепь Маркова с конечным числом состояний: определение при помощи помеченного графа и матрицы, вероятности перехода и маргинальные вероятности, стационарные распределения.
14. Моделирование процесса переключения сигнально-кодowych конструкций при передаче в беспроводном канале цепью Маркова.
15. Передача биконов без прослушивания беспроводной среды (метод ALOHA)
16. Передача биконов с прослушиванием беспроводной среды (метод CSMA/CA)
17. Эргодическая теорема для цепей Маркова: классификация состояний и доказательство для неприводимой нециклической цепи.

### **3. Образовательные технологии**

В качестве образовательных технологий применяются активные образовательные технологии (лекции), а также самостоятельная работа аспирантов под контролем научного руководителя.

### **4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.**

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

Контроль знаний осуществляется в процессе индивидуальной работы с научным руководителем, а также в процессе участия в аудиторных занятиях (доклады, обсуждения).

### **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

#### ***Основная литература***

1. Ширяев А.Н, Вероятность. Любое издание.
2. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Любое издание.

#### ***Дополнительная литература***

1. Ван Кампен Н.Г. Стохастические процессы в физике и химии. М.: Высшая школа. 1990.
2. Гардинер К.В. Стохастические методы в естественных науках. М.: Мир, 1986.
3. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. М.: Наука, 1986.

#### ***Интернет-ресурсы***



1. Markov process. Encyclopedia of Mathematics. URL:  
[http://www.encyclopediaofmath.org/index.php?title=Markov\\_process&oldid=37905](http://www.encyclopediaofmath.org/index.php?title=Markov_process&oldid=37905) (версия от 14 марта 2016 г.)
2. Kempthorne P. Mathematical Statistics. MIT OpenCourseWare course. URL:  
<https://ocw.mit.edu/courses/mathematics/18-655-mathematical-statistics-spring-2016/> (весна 2016 г.)
3. Polyanskiy Y. Information Theory. MIT OpenCourseWare course. URL:  
<https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-441-information-theory-spring-2016/> (весна 2016 г.)

### ***Пособия и методические указания***

Рекомендуются следующие сборники задач:

1. Ширяев А. Н. Задачи по теории вероятностей. М.: МЦНМО, 2011.
2. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Любое издание (разделы задач в конце каждой главы).
3. Грэхем Р., Кнут Д., Паташник О, Конкретная математика: Основание информатики. М.: Мир, 1998. Гл. 7, 8 и задачи к ним.
4. Ван Кампен Н. Г. Стохастические процессы в физике и химии. М.: Высшая школа, 1990 (разделы задач в конце каждой главы).

### **Авторы**

К.т.н. А. А. Сафонов, д.ф.-м.н. А. Н. Соболевский





Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН  
Программа дисциплины ОД.А.05 «Теория помехоустойчивого кодирования (по выбору)»  
Специальность 01.01.09 ; 05.13.17; 05.12.13  
подготовки аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем передачи информации им. А.А.Харкевича  
Российской академии наук  
ИППИ РАН**

**Рабочая программа дисциплины**

ОД.А.05 «Теория помехоустойчивого кодирования»

Специальность 01.01.09;05.13.17; 05.12.13  
подготовки аспирантура

Разработчик программы:

Доцент, д.т.н. К. Ш. Зигангиров,  
д.ф.-м.н., профессор Г. А. Кабатянский

Одобрена на заседании УС  
«03» сентябрь 2018 г.

Председатель УС  
В.И.Венец

(подпись)



Москва, 2018 г



## Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает требования к образовательным результатам и результатам обучения аспиранта и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа ОД.А.05 «Теория помехоустойчивого кодирования» предназначена для преподавателей, ведущих дисциплину, аспирантов для специальности 01.01.09; 05.13.17 ; 05.12.13.

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- ФГОС ВО по направлению 02.06.01 «Компьютерные и информационные науки» для специальности 01.01.09 – дискретная математика и математическая кибернетика и по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника» для специальности 05.13.17 теоретические основы информатики
- Учебным планом института по образовательной программе для специальности 01.01.09 – дискретная математика и математическая кибернетика и специальности 05.13.17-теоретические основы информатики

### 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Фундаментальная подготовка слушателей в области теории информации и теории кодирования, построение навыков применения теории информации и теории кодирования при конструировании и исследовании телекоммуникационных сетей и систем, оказание консультаций слушателям в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований телекоммуникационных сетей и систем.

### 2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 час.).

#### 2.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР		
1.	Теория помехоустойчивого кодирования	180	90	90				90	Кандидатский экзамен

#### 2.2. Содержание дисциплины

1. Введение. Передача данных. Передача данных и хранение информации. Методы модуляций. Каналы связи. Модели каналов. Прием сигналов. Обнаружение сигналов.
2. Элементы теории информации и кодирование дискретных источников сообщений. Основные определения и соотношения теории информации. Метод типов. Кодирование дискретных



ных источников сообщений. Универсальное кодирование.

3. Общая теория блочных кодов. Блочные коды - основные характеристики. Линейные коды, двойственность. Коды Хэмминга и симплекс-коды. Метод случайного кодирования и пропускная способность канала. Задачи сложности в теории кодирования.
4. Конструкции семейств блочных кодов. Коды Рида-Соломона и коды БЧХ как их подкоды. Алгоритмы декодирования (списочного) кодов Рида-Соломона. Полиномы Жегалкина и коды Рида-Маллера, их декодирование. Коды Гоппы и введение в алгебро-геометрические коды. Каскадные конструкции.
5. Коды на графах. Коды на графах и вычислительное дерево. Блочные коды с малой плотностью проверок (КМПП) на четность. Характеристики блочных КМПП. Алгоритмы итеративного декодирования блочных КМПП. Методы анализа блочных КМПП. Пороги. Обобщенные блочные КМПП. Коды на экспандерах(расширителях)
6. Общая теория сверточных кодов. Сверточные коды - основные определения и характеристики. Методы декодирования сверточных кодов. Апостериорно-вероятностное декодирование сверточных кодов. Конструкции турбо кодов. Итеративное декодирование турбо кодов. Многоуровневые турбо коды.
7. Сверточные КМПП. Построение сверточных КМПП. Сверточные перемежители. Конвейерное декодирование сверточных КМПП. Анализ порогов сверточных КМПП. Другие итеративно декодируемые сверточные КМПП.
8. Другие приложения кодов. Коды, дискретная геометрия и сигналы. Коды и защита информации(розПциап1ш cryptography). Коды для каналов с множественным доступом и задачи поиска.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные методы кодирования, практически используемые в современных телекоммуникационных сетях и системах.
2. По какому критерию выбираются в настоящее время помехоустойчивые коды и методы их декодирования при построении систем передачи данных?
3. На чем были сосредоточены усилия ученых, работавших в области теории кодирования в 60-80 гг. прошлого века, и каковы проблемы, решаемые современными исследователями в этой области?
4. Дайте определение сверточного кода. Какие методы декодирования сверточных кодов вы знаете?
5. Как определяется свободное расстояние сверточного кода? Сформулируйте границы для свободного расстояния. От чего они зависят?
6. Какие коды используются в турбо-кодах в качестве компонентных кодов?
7. Какой итеративный алгоритм используется для декодирования компонентных кодов турбо-



кодов?

8. Какие два класса блочных кодов с малой плотностью проверок (КМПП) на четность вы знаете?
9. Опишите асимптотические характеристики блочных КМПП кодов при длинах кодов, стремящихся к бесконечности.
10. Какие итеративные алгоритмы декодирования КМПП кодов вы знаете? Сравните их сложности.
11. Опишите алгоритм построения сверточных КМПП кодов.
12. Как ведут себя сверточные КМПП коды когда память кода стремится к бесконечности? В частности, куда стремятся пороги? Сравните их поведение с поведением порогов блочных КМПП кодов.

### **3. Образовательные технологии**

В качестве образовательных технологий применяются активные образовательные технологии (лекции), а также самостоятельная работа аспирантов под контролем научного руководителя.

### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет. Контроль знаний осуществляется в процессе индивидуальной работы с научным руководителем, а также в процессе участия в аудиторных занятиях (доклады, обсуждения).

### **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

#### ***Основная литература***

1. Мак-Вильямс Ф.Дж., Слоэн Н.Дж. Теория кодов, исправляющих ошибки. М.: Связь. 1979.
2. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. М.: Мир. 1976.
3. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. М.: Мир. 1986.
4. Влэдуч С.Г., Ногин Д.Ю., Цфасман М.А. Алгеброгеометрические коды. Основные понятия. МЦНМО, 2003.
5. Сагалович КХЛ. Введение в алгебраические коды. М.: Минобрнауки РФ, Агентство по печати; МФТИ; ИППИ РАН, 2007.
6. Сидельников В.М. Теория кодирования. М.: Физматлит, 2008.
7. Ромашенко А., Румянцев А., Шень А. Заметки по теории кодирования.



Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН  
Программа дисциплины ОД.А.05 «Теория помехоустойчивого кодирования»  
Специальность 01.01.09; 05.13.17; 05.12.13  
подготовки аспирантура

МЦНМО, 2011.

8. Johannesson R., Zigangirov K.Sh. Fundamentals of convolutional coding. IEEE Press. 1999.
9. Д. Кудряшов. Теория информации. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2018

### **Авторы**

Доцент, д.т.н. К. Ш. Зигангиров, д.ф.-м.н.,  
профессор Г. А. Кабатянский



Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН  
Программа дисциплины ОД.А.04 «Методология научных исследований»  
Специальность 01.01.02 – дифференциальные уравнения,  
динамические системы и оптимальное управление»  
аспирантура

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича  
Российской академии наук  
ИППИ РАН**

**Рабочая программа дисциплины**

ОД.А.04 «Методология научных исследований»  
Специальность 01.01.02 – дифференциальные уравнения,  
динамические системы и оптимальное управление»  
аспирантура

Разработчик программы: д.ф.-м. н. А.М. Красносельский

Одобрена на заседании УС  
«03» сентября 2019г.

Председатель УС

В.И.Венец

(подпись)



Москва, 2019 г.