

## **ЛАБОРАТОРИЯ № 10**

### ***Лаборатория теории коммуникационных сетей***

Заведующий лабораторией – д.ф.-м.н. Полесский Валерий Петрович  
Тел.: (095) 299-50-02; E-mail: [poles@iitp.ru](mailto:poles@iitp.ru)

Ведущие ученые лаборатории:

д.ф.-м.н.	Введенская Н. Д.	к.т.н.	Михайлов В. А.
д.т.н.	Кузнецов А. В.	к.т.н.	Орлов И. А.
д.т.н.	Левшин И. П.	к.т.н.	Поляков В. Г.
д.т.н.	Цыбаков Б. С.	к.ф.-м.н.	Рубинов А. Р.
к.т.н.	Лиханов Н. Б.	к.т.н.	Федорцов С.П.

### **НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ:**

- теория надежности сетей связи;
- самоподобный трафик в сетях связи;
- сети связи с множественным доступом пакетов;
- асимптотическое исследование больших систем множественного доступа;
- имитационные модели гидроакустических систем передачи информации;
- кодирование и обработка сигналов в системах памяти.

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

В Лаборатории можно выделить три группы исследователей: 1) Полесский В. П., Рубинов А. Р., Кузнецов А. В.; 2) Лиханов Н. Б., Введенская Н. Д., Цыбаков Б. С., Федорцов С. П., Михайлов В. А.; 3) Левшин И. П., Орлов И. А. Поляков В. Г. – самостоятельная единица.

Для решения актуальных проблем теории современных коммуникационных сетей группа 1 применяет и разрабатывает, в основном, методы дискретной математики, а группы 2 и 3 – вероятностные методы.

В. П. Полесский продолжал свои исследования в области теории оценок надежности систем и сетей. Подход к этой теории мотивирован выявлением комбинаторики надежности и описан в статье, опубликованной в электронном журнале «Информационные процессы», 2001, т. 1, № 2. Современное состояние теории оценок надежности монотонных систем изложено В. П. Полесским в [1]. Эта теория есть первый уровень общей теории оценок надежности систем и сетей. В. П. Полесский разработал новые рекордные и эффективно вычисляемые двусторонние оценки надежности монотонных систем. Эти оценки используют произвольные группы минимальных путей или минимальных разрезов (например, кратчайшие (надежные) минимальные пути или наименее мощные (надежные) минимальные разрезы) [2]. Эти результаты были доложены на третьей Международной конференции «Математические методы в теории надежности», состоявшейся в июне 2002 г. в Норвегии. На основе разработанной теории в Институте проблем информатики РАН создана программа расчета двусторонних оценок надежности общих монотонных систем. Эта программа позволит найти наилучший практический метод выбора групп минимальных путей и минимальных разрезов с целью получения хороших оценок.

В связи с быстрым ростом способности передавать информацию с очень большими скоростями по цифровым сетям связи, традиционные предположения о статистической природе трафика в сетях становятся далекими от практического положения дел. Многочисленные исследования последних лет показали, что наличие продолжительной по времени статистической зависимости является важным свойством трафика в инфраструктурах современных сетей передачи данных. Данное статистическое свойство трафика существенным образом влияет на такие ключевые параметры сетей передачи данных как вероятность потери пакета и распределение задержки передачи. Так, например, вероятность потери пакета становится убывающей в зависимости от объема буфера по степенному закону, в отличие от классических моделей, для которых вероятность потери убывает экспоненциально. Это было подтверждено многочисленными аналитическими исследованиями. Однако модели трафика, которые приводят к промежуточному случаю субэкспоненциального распределения для вероятностей потери пакета, исследованы недостаточно. Поэтому, для одной из таких моделей Н. Б. Лихановым были получены [3] аналитические результаты, позволяющие в явной форме асимптотически точно вычислять вероятность переполнения буфера и вероятность потери пакета в узле коммутации сети передачи данных.

Н. Д. Введенская продолжала исследование больших систем массового обслуживания [4-7]. Эта тема традиционна для нашего Института, сотрудники различных лабораторий занимаются изучением таких систем. Это связано с исследованием современных систем телекоммуникаций. Рассматриваются математические модели систем с динамической маршрутизацией, т.е. маршрутизацией, которая зависит от текущего состояния системы. Цель работы состоит в оценке параметров, характеризующих работу системы, в частности, интересуются условиями неперегруженности системы. Поэтому предлагаются и оцениваются протоколы, балансирующие нагрузку (load-balance protocol). Основной моделью является открытая сеть Джексона, т.е. такая система, на которую поступают новые заявки, и каждая заявка после обслуживания прибором с некоторой вероятностью покидает систему или же посылается на некоторый прибор для повторного обслуживания. Применяются асимптотические методы, рассматриваются предельные системы, возникающие при неограниченном росте числа приборов в системе. Применяются как методы теории вероятностей (для случая систем с конечным числом приборов), так и методы теории дифференциальных (функциональных) уравнений (для случая предельной системы с бесконечным числом приборов). В обоих случаях возникают нетривиальные математические задачи. В частности, возникает новый тип дифференциальных (функциональных) уравнений с нелокальными коэффициентами, которые зависят от значений решения в фиксированных точках. Интересные задачи для дифференциальных уравнений возникают также для систем с протоколом типа TCP-протокола. Подобные системы популярны сейчас в связи с использованием протоколов типа TCP в современных системах телекоммуникаций.

Широкое распространение цифровых радиотелефонов и возрастающие требования на средства, дающие возможность работать в реальном масштабе времени, привели к увеличению спроса на передачу данных и файлов. Этот спрос начинает удовлетворяться с помощью мобильных CDMA (множественный доступ с помощью кодового разделения) сетей связи третьего поколения. Для того, чтобы эти сети работали эффективно, требуется решить ряд фундаментальных задач. Одной из таких задач является отыскание оптимальных ал-

горитмов передачи (расписания) файлов по каналам с замираниями, ведущим от базовой станции к мобильным пользователям. Эта задача не рассматривалась в классических теориях расписания и массового обслуживания. Она была решена Б. С. Цыбаковым для одной из систем, в которой предполагается, что базовая станция должна передать конечное число  $N$  файлов. Новые файлы не возникают на базовой станции до завершения передачи этих  $N$  файлов или, если они возникают, то не вмешиваются в текущие передачи  $N$  файлов. В общем случае считается, что в любой момент времени алгоритм передачи знает оставшиеся не переданными длины файлов и скорости передачи во всех  $N$  каналах к  $N$  пользователям. Для этой системы рассмотрены три заданные алгоритма. Первый алгоритм выбирает в каждом окне максимальный по скорости канал  $k$  и передает по нему. Второй алгоритм выбирает файл  $k$ , имеющий в начале окна минимальное отношение (оставшаяся длина файла  $k$ /скорость в канале  $k$ ), и передает этот файл. Третий алгоритм – это алгоритм деления времени между файлами (каналами). С использованием аддитивного свойства найдены уравнения для средней задержки и среднего времени передачи для этих трех алгоритмов. Показано, как эти уравнения могут быть решены рекуррентно. После этого описан общий алгоритм (класс алгоритмов, который включает три рассмотренных алгоритма как частные случаи). На основе определения этого класса стала возможной постановка задачи отыскания оптимального алгоритма. Был найден оптимальный алгоритм. Его знание важно в двух отношениях: в возможности практического использования и возможности сравнения с ним других конкретных алгоритмов. Приведены численные сравнения рассмотренных алгоритмов. Примеры показывают, что динамический алгоритм деления времени почти столь же хорош как оптимальный алгоритм и иногда лучше чем алгоритм, который выбирает для передач в каждом окне наилучший канал. Детали работы приведены в [8, 9].

В статье А. Р. Рубинова и Б. С. Цыбакова [10] описываются коды, избегающие конфликтов. Они могут использоваться как протокольные последовательности при пакетной передаче данных по каналам без обратной связи. Обсуждаются взаимосвязи этих кодов с известными кодами. Приводятся оценки размера и несколько конструкций кодов, избегающих конфликтов.

А. В. Кузнецов завершил изучение вероятностей ошибок комбинаторных низкочастотных (LDPC) кодов в различных каналах поперечной и перпендикулярной магнитной записи. А. В. Кузнецов разработал упрощенные кодеры и декодеры для комбинаторных LDPC кодов, а также некоторых кодов с ограничениями длин серий.

И. П. Левшиным рассмотрена [11, 12] проблематика применения информационной технологии, разработанной в ИППИ РАН, основанной на использовании методов и средств имитационного моделирования при решении задач автоматизированного прогноза качества канала передачи информации между подвижными морскими объектами. Показано, что разнообразие и сложность задач, требующих соответствующей интерпретации и решения в рамках создания эффективных методов и систем связи, поиска и распознавания надводных и подводных объектов, навигации телеметрии и др., обуславливает необходимость комплексного подхода. Разрабатывается методика построения и исследования математических и имитационных моделей сложных физических сред распространения сигналов – переносчиков информации, моделей как отдельных элементов, так и их совокупности, составляющих соответствующую систему, а также использование существующих и формирование новых банков данных геофизических и гидрологических параметров, применяемых в моделях. И.

А. Орловым была разработана [13] методика оценивания помехоустойчивости гидроакустической системы передачи информации на основе алгоритмов имитационной модели гидроакустической СПИ и алгоритмов генерации стохастической передаточной функции гидроакустической среды, и приведены примеры оценок помехоустойчивости.

### ГРАНТЫ:

• **Российский фонд фундаментальных исследований, поддержка ведущих научных школ (№ 02-01-00068):** "Асимптотические методы анализа многокомпонентных систем статистической физики и сети обслуживания". Руководитель Н. Д. Введенская.

### ПУБЛИКАЦИИ В 2002 г.

1. Полесский В.П. О современном состоянии теории оценок надежности монотонных систем // Системы и средства информатики. Спецвыпуск ИПИ РАН. М.: изд-во ИПИ РАН, 2002. С. 181-205.
2. Poleskii V.P., Krivoulets V.G. Efficiently computable bounds on stochastic monotone binary system reliability // Third International Conference on Mathematical Methods in Reliability (Trondheim, Norway, June 17-20, 2002). Communications, Ed. H. Langseth and B. Lindqvist. NTNU, p. 531-534.
3. Guillemin F.M., Likhanov N., Mazumdar R.R., Rosenberg C. Extremal traffic and bounds for the mean delay of multiplexed regulated traffic streams // Proc. IEEE INFOCOM 2002 (New York, USA).
4. Vvedenskaya N.D., Suhov Yu.M. Fast Networks with Dynamic Routing // Proc. IEEE Intern. Symp. on Inform. Theory, June 30-July 5, 2002.
5. Vvedenskaya N.D., Khaldoun al Agha, Jacquet Ph. Analysis of the Priority Stack Random Access Protocol // W-CDMA Systems, IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2002. V. 51. No. 3. ITVTAB, p. 588-596.
6. Введенская Н.Д., Сухов Ю.М. Быстрые цепи Джексона с динамической маршрутизацией // Проблемы передачи информации. 2002. Т. 38. № 2. С. 44-63.
7. Vvedenskaya N.D. Some Functional Equations Arising in Applications // Int. Conf. on Differential and Functional Differential Equations (Moscow Aviations Inst., etc., Moscow, 2002). Abstract, p.131.
8. Tsybakov B.S. Optimum discarding in bufferless system // Queueing Systems. 2002. V. 41. P. 165-197.
9. Tsybakov B.S. File transmission over wireless fast fading downlink // IEEE Transactions on Information Theory. 2002. V. 48. No. 8. P. 2323-2337.
10. Цыбаков Б.С., Рубинов А.Р. Некоторые конструкции кодов, избегающих конфликты // Проблемы передачи информации. 2002. Т. 38. № 4. С. 24-36.
11. Vasic B., Kurtas E., Kuznetsov A. Kirkman Systems and Their Application in Perpendicular Magnetic Recording // IEEE Trans. Magnetics. 2002. V. 38. No. 4. P. 1705-1710.
12. Vasic B., Kurtas E., Kuznetsov A. LDPC Codes Based on Mutually Orthogonal Latin Rectangles and Their Application in Perpendicular Magnetic Recording // IEEE Trans. on Magnetics. 2002. V. 38. No. 5. P. 1705-1710.
13. Vasic B., Kurtas E., Kuznetsov A. Design and Analysis of Low-Density Parity Check Codes for Application to Perpendicular Recording Channels // In the Encyclopedia of Telecommunications, ed. by John G. Proakis (to appear).

14. Vasic B., Kurtas E., Kuznetsov A. Kirkman Systems and Their Application in Perpendicular Magnetic Recording // North American Perpendicular Magnetic Recording Conference – NAPMRC (Coral Gables, Florida, January 7-9, 2002).
15. Vasic B., Kurtas E., Kuznetsov A. Regular Lattice LDPC Codes in Perpendicular Magnetic Recording // INTERMAG 2002 (Amsterdam, April 28 – May 2, 2002).
16. Litvinov D., Gustafson R., Kuznetsov A., Kryder M., Kizroev S. Multiple Magnetic Image Reflection in Perpendicular Recording // INTERMAG 2002 (Amsterdam, April 28 – May 2, 2002).
17. Vasic B., Kurtas E., Kuznetsov A. Lattice Low-Density Parity Check Codes and Their Application in Partial Response Systems // International Symposium on Information Theory (July 2002).
18. Левшин И.П., Орлов И.А. Разработка новой технологической базы автоматизации анализа и синтеза гидроакустических систем передачи информации. – Заключительный отчет о НИР № гос. регистрации 1.9.70001623, ИППИ РАН, ВНИИЦ, 2002, 217 стр.
19. Левшин И.П. Принципы организации бортового прогнозатора, качество канала передачи информации в гидроакустических системах // Труды XXIX Международной конференции и дискуссионного научного клуба "Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе (IT+SE'2002, майская сессия). Ч. В: Информационные системы поддержки принятия решений. 2002. С. 52-53.
20. Орлов И.А. Исследование помехоустойчивости гидроакустической системы передачи информации на имитационной модели // Труды XXIX Международной конференции и дискуссионного научного клуба "Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе (IT+SE'2002, майская сессия). Ч. В: Информационные системы поддержки принятия решений. 2002. С. 122-125.