

48. Домбровский В.В. Понижение порядка линейных многомерных систем при Н[∞]-ограничениях // Автоматика и телемеханика. 1994. № 4. С. 123–132.
49. Домбровский В.В. Синтез оценивателей пониженного порядка для дискретных систем со случайными параметрами // Изв. РАН. Техническая кибернетика. 1994. № 6. С. 58–64.
50. Домбровский В.В. Синтез оптимальных динамических регуляторов пониженного порядка для нестационарных линейных дискретных стохастических систем // Автоматика и телемеханика. 1996. № 4. С. 79–86.
51. Параев Ю.И. Об оптимальных процессах управления при стохастической обратной связи // Автоматика и телемеханика. 1965. № 10. С. 1672–1681.
52. Параев Ю.И. О влиянии характеристик измерительных устройств на точность предсказания траекторий физических процессов // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1965. № 4. С. 24–30.
53. Параев Ю.И. О предсказании траекторий движения стохастических систем // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1966. № 1. С. 87–94.
54. Параев Ю.И. Об оптимальных процессах управления динамическими системами в стохастическом случае // Самообучающиеся автоматические системы. М.: Наука, 1966. С. 386–401.
55. Параев Ю.И. Об оптимальном управлении стохастическими системами // Автоматика и телемеханика. 1966. № 6. С. 61–71.
56. Параев Ю.И. О прямом решении одной задачи аналитического конструирования регуляторов // Оптимальные системы автоматического управления. М.: Наука, 1967. С. 95–98.
57. Параев Ю.И. Предсказание траекторий стохастических систем при инерционном измерительном устройстве // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1967. № 1. С. 137–150.
58. Параев Ю.И. Об оптимальном управлении стохастическими системами // Оптимальное управление. Статистические методы. М.: Наука, 1967. С. 278–286.
59. Параев Ю.И. On optimal control of stochastic systems with unknown characteristics of noise // Proc. IFAC symposium on multivariable control systems. Dusseldorf, 1968. P. 121–130.
60. Параев Ю.И. О вероятностных характеристиках оценок Калмана // Автоматика и телемеханика. 1969. № 9. С. 29–36.
61. Параев Ю.И. Об оптимальном управлении динамическими системами в стохастическом случае // Труды СФТИ. Вып. 49. Томск, 1970. С. 188–200.
62. Параев Ю.И. Решение с помощью метода динамического программирования одной задачи об оптимальном управлении стохастическими системами // Труды СФТИ. Вып. 49. Томск, 1970. С. 201–206.
63. Параев Ю.И. Об оптимальном управлении при инерционной и стохастической обратной связи // Нелинейные и оптимальные системы. М.: Наука, 1971. С. 119–124.
64. Параев Ю.И. On a method of estimation of unknown parameters of the linear dynamic objects // Proc. 2-nd IFAC symposium on multivariable control systems. Dusseldorf, 1971. P. 201–207.
65. Параев Ю.И. К анализу поведения линейных динамических систем со случайными коэффициентами // Автоматика и телемеханика. 1972. № 4. С. 36–41.
66. Параев Ю.И. Адаптация и оптимальное управление. Решение некоторых задач фильтрации динамических сигналов, формирующихся из случайных процессов гауссовского и пуассоновского типов // Адаптация и автоматические системы. М.: Сов. радио, 1972. С. 78–85.
67. Параев Ю.И. Об эквивалентности оценок Калмана и оценок максимального правдоподобия // Труды СФТИ. Вып. 64. Томск, 1973. С. 71–77.
68. Параев Ю.И. О вероятностных характеристиках функционалов от марковских процессов // Труды СФТИ. Вып. 64. Томск, 1973. С. 78–84.
69. Параев Ю.И. Adaption and optimal control solution of problem of filtering of dynamical signals formed by gaussian and poisson random processes // Journal of cybernetics. 1974. Vol. 3. № 4. P. 78–91.
70. Параев Ю.И. Об устойчивости линейных систем со случайным изменением структуры // Автоматика и телемеханика. 1982. № 8. С. 165–168.
71. Параев Ю.И., Букреев В.Г. Локально-оптимальное управление электромеханическими объектами // Электротехника. 1998. № 8. С. 48–52.
72. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А. О модальном управлении с помощью динамической обратной связи по выходу // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1981. № 4. С. 45–48.
73. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А. Синтез регулятора с памятью для линейной дискретной системы // Автоматика и телемеханика. 1982. № 8. С. 36–40.
74. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А. Модальное управление с помощью динамической обратной связи // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1982. № 4. С. 42–46.
75. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А. Синтез динамических компенсаторов на основе матричного уравнения Сильвестра // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 1986. № 6. С. 20–24.
76. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А. Применение наблюдателя с конечной памятью в цифровых ПИ-регуляторах многомерных систем // Изв. вузов. Приборостроение. 1995. Т. 38. № 11–12. С. 29–32.
77. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А. Понятие обобщенной передаточной матрицы и условие инвариантности линейной многомерной системы // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1995. № 6. С. 45–49.
78. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А. Влияние периода дискретизации измерений на качество оценки состояния непрерывной стохастической системы // Автоматика. 1998. № 2. С. 24–27.
79. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А. Матричное уравнение Сильвестра в задаче алгебраического синтеза многосвязных линейных систем // Изв. вузов. Авиационная техника. 1998. № 4. С. 29–33.
80. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А. Локально-оптимальное управление системами с переменной структурой // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2000. № 1. С. 23–26.
81. Параев Ю.И., Решетникова Г.Н., Смагин В.И. Синтез экономичных алгоритмов цифрового адаптивного управления в экстремальных ситуациях // Вычислительные технологии. 1992. Т. 1. № 3. С. 249–255.
82. Параев Ю.И., Смагин В.И. Решение задач оптимального управления стохастическими объектами при воздействии шумов гауссовского и пуассоновского типов // Труды СФТИ. Вып. 64. Томск, 1973. С. 46–56.
83. Параев Ю.И., Смагин В.И. Задача упрощения структуры оптимальных регуляторов // Автоматика и телемеханика. № 6. 1975. С. 180–183.
84. Параев Ю.И., Смагин В.И. Синтез экстремальных управлений в дискретных системах с неполной информацией // Изв. вузов. Приборостроение. № 2. 1988. С. 77–81.
85. Параев Ю.И., Цветницкая С.А. Linear system parameters and state estimation // Second IFAC symposium on stochastic. Vilnius, 1986. С. 78–82.
86. Смагин В.И. Локально-оптимальное управление летательным аппаратом с оптимизацией конечного состояния // Изв. ВУЗов. Авиационная техника. 1993. № 4. С. 74–76.
87. Смагин В.И. Локально-оптимальные следящие системы управления при косвенных измерениях с ошибками // Изв. вузов. Авиационная техника. 1995. № 1. С. 26–30.
88. Смагин В.И. Динамические локально-оптимальные следящие системы управления // Изв. вузов. Авиационная техника. 1995. № 4. С. 23–26.
89. Смагин В.И. Линейная фильтрация в непрерывных системах с вырожденной матрицей интенсивностей шумов измерителя // Автоматика и вычислительная техника. 1996. № 1. С. 54–60.
90. Смагин В.И. Локально-оптимальное управление в дискретных системах с неизвестными постоянными возмущениями и параметрами // Изв. вузов. Приборостроение. 1997. Т. 40. № 1. С. 37–41.
91. Смагин В.И. Адаптивные локально-оптимальные следящие системы управления // Изв. вузов. Авиационная техника. 1997. № 2. С. 41–46.
92. Смагин В.И. Локально-оптимальные следящие системы управления для дискретных объектов со случайными параметрами // Автоматика и вычислительная техника. 1997. № 2. С. 32–40.
93. Смагин В.И. Локально-оптимальные следящие системы управления при неконтролируемых возмущениях // Изв. вузов. Авиационная техника. 2000. № 1. С. 41–46.

Статья поступила в научную редакцию 20 марта 2000 г.

А.А. Назаров

НЕКОТОРЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ В ТОМСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ПО ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯМ

Введение

В конце 60-х гг. в Томском университете методами теории вероятностей успешно решается ряд прикладных задач по статистической радиофизике и в этом направлении складывается научная школа под руководством молодого талантливого ученого А.Ф. Терпугова. Поэтому в 1972 г. на факультете прикладной математики ТГУ при непосредственном участии уже профессора А.Ф. Терпугова открывается кафедра теории вероятностей и математической статистики. Он возглавлял эту кафедру и руководил ею в течение 27 лет.

Не претендуя на полноту отражения всех направлений работ в Томском университете по теории вероятностей и ее приложениям, остановимся лишь на тех из них, которые выполнены коллективом ученых, консолидированных кафедрой ТВиМС, ее заведующим и научным руководителем профессором А.Ф. Терпуговым. Условно можно выделить восемь научных направлений работ по теории вероятностей и ее приложениям, которые развивались от момента открытия кафедры.

Хронологически первым направлением можно считать решение проблемы управления и адаптации в системах массового обслуживания (СМО) [1, 2], которое завершается защитой двух докторских диссертаций: А.М. Горцевым по исследованию СМО с управляемой структурой и А.А. Назаровым по развитию методов оптимизации дисциплин обслуживания.

Исследование алгоритмов анализа сложных систем приводит А.А. Назарова к созданию метода асимптотического анализа марковизируемых систем [3], а его применение позволило успешно провести исследования математических моделей компьютерных сетей связи с протоколами случайного множественного доступа.

Исследования А.Ф. Терпугова и И.А. Коротаева систем массового обслуживания с переменными или случайно изменяющимися параметрами, а также адаптация к неизвестной или изменяющейся интенсивности входящего потока отражены в монографии [4], а их результаты защищены в докторской диссертации И.А. Коротаева.

Практические задачи радиолокации, возникшие в конце семидесятых годов, реанимируют интерес профессора А.Ф. Терпугова к решению проблемы поиска движущегося сигнала в многоканальной системе. Исследования в этой области, выполненные его учениками, опубликованы в монографиях [5,6] и защищены в докторской диссертации Ю.М. Тонконогова.

Усложнение математических моделей систем, функционирующих в случайной среде, приводит А.М. Горцева к необходимости рассмотрения нового класса математических моделей потоков событий. Под его руководством на кафедре «Исследования операций» ФПМК интенсивно ведется изучение дважды стохастических потоков событий. По этим исследованиям защищены ряд кандидатских диссертаций.

Практические задачи анализа телеметрической информации приводит профессора А.Ф. Терпугова к постановке задач анализа трендов временных рядов и случайных потоков однородных событий. Наиболее интересные результаты получены его учениками Б.Е. Тривоженко [7] и Ф.Ф. Идрисовым. В докторской диссертации Идрисова защищены результаты статистического анализа временных рядов при измерениях их значений в случайные моменты времени.

Почти двадцатилетние исследования ученика А.Ф. Терпугова К.И. Лившица по проблемам идентификации математических моделей и сглаживанию сплайнами экспериментальных данных опубликованы в монографии [8] и защищены в его докторской диссертации.

Говоря об интенсивности научной работы коллектива кафедры по теории вероятностей и ее приложениям, достаточно напомнить, что здесь подготовлены и успешно защищены шесть докторских диссертаций (А.М. Горцев, А.А. Назаров, Ю.М. Тонконогов, И.А. Коротаев, К.И. Лившиц, Ф.Ф. Идрисов) и ряд кандидатских. Добавим к этому, что с 1982 по 1997 г. изданы четыре выпуска сборников «Управляемые системы массового обслуживания» и два выпуска сборников «Поиск сигнала в многоканальных системах». Кроме того, в 1989–1992 гг. проведены четыре всесоюзные научные конференции.

На базе научных исследований проводится значительная учебно-методическая работа. В учебном процессе широко используются результаты, опубликованные в перечисленных монографиях, для разработки тем курсовых, дипломных работ и кандидатских диссертаций, программ и материалов специальных курсов для студентов. Издано ряд учебных пособий [9–17] и большое количество методических указаний к разделам различных курсов, читаемых на кафедрах «Теории вероятностей и математической статистики», «Исследования операций».

1. Управление и адаптация в системах массового обслуживания

Интерес к исследованию управляемых систем массового обслуживания (СМО) возник на кафедре ТВиМС в 1972 г. в связи с решением двух достаточно очевидных задач. Первая – как организовать работу второго прибора в двулинейной СМО, если возможны его периодические отключения для экономии ресурса прибора. Эта задача привела А.М. Горцева к постановке проблемы исследования СМО с переменной структурой. Вторая задача – в каком порядке обслуживать заявки двух различных потоков требований на единственном приборе. Эта задача приводит А.А. Назарова к проблеме оптимизации дисциплин обслуживания в СМО.

Первая система получила название СМО с резервным прибором, и ее исследованию посвящены работы А.М. Горцева [18–22]. Вторая система получила название СМО с динамическими приоритетами. Одновременно рассмотрена система с формированием очередей заявок одного потока в бункеры к различным приборам. Исследованию этих систем посвящены работы А.А. Назарова и А.Ф. Терпугова [23–29].

Публикация в 1975 г. обзора В.В. Рыкова [30] по управляемым СМО убеждает ученых ФПМК в том, что исследования в этом направлении далеки от завершения, так как рассматриваются лишь статические или программные (не зависящие от состояния системы) управления и не исследованы управляемые СМО с динамическими (зависящими от состояния системы) дисциплинами обслуживания и структурами системы.

Нет даже упоминаний об адаптивных управлениях, когда требуется одновременно в режиме реального времени оценивать значения некоторых параметров СМО и назначать оптимальное управление. По-видимому, впервые понятие адаптивного управ-

ления системами массового обслуживания введено А.А. Назаровым и А.Ф. Терпуговым в [27].

Не рассматривались задачи управления СМО по информации, стохастически связанной с состоянием системы. Этот класс управлений получил название управлений по косвенным наблюдениям и введен А.М. Горцевым в работе [21], а А.А. Назаровым и А.Ф. Терпуговым – в [28, 29].

Рассматривая марковские модели, А.М. Горцев их исследования сводит к решению уравнений в конечных разностях переменной структуры, для которых находит аналитические решения, что позволяет решать задачу выбора оптимальных значений моментов включения и выключения резервных приборов.

Для решения задач назначения оптимальных дисциплин обслуживания А.А. Назаровым предложена модификация метода динамического программирования для СМО, функционирующих в стационарных режимах.

Решение задач адаптивного управления системами обслуживания А.А. Назаровым предложено осуществлять автоматами с целесообразным поведением. Эта идея реализована в [31–34]. Этот же подход А.М. Горцевым применен для адаптивного управления структурой в системах обслуживания [35–37]. Помимо систем с резервными приборами рассмотрены и другие системы, такие как системы с «засоренными» потоками [38, 39], системы с адаптивным управлением потоками заявок [40–42]. Особое внимание уделено симметричной ситуации, когда каждый из приборов может выводиться в резерв в зависимости от складывающейся ситуации [43, 44]. Работы этого направления выполнены С.С. Катаевой под руководством А.М. Горцева [45–48], и результаты защищены С.С. Катаевой в кандидатской диссертации.

Для решения этих задач применялись методы проверки статистических гипотез – подход, предложенный А.М. Горцевым и А.Ф. Терпуговым в [1]. Рассматривались и другие задачи. А.А. Назаровым решается

задача оптимизации систем обслуживания в конфликтных ситуациях методами теории неантагонистических игр [49]. Найдены устойчивые решения и кооперативные решения, устойчивые по Нэшу.

2. Метод асимптотического анализа марковизируемых систем

Исследования сложных систем массового обслуживания приводят А.Ф. Терпугова и А.А. Назарова к необходимости рассмотрения СМО в условиях большой загрузки [50,51]. Этот подход развивается А.А. Назаровым и В.А. Чекиным в [52] для исследования немарковских моделей, а применение теории пограничного слоя позволяет уточнить асимптотические результаты, полученные в первом приближении. Эти результаты защищены В.А. Чекиным в его кандидатской диссертации.

Решение вышеперечисленных, а также других задач [53] приводит А.А. Назарова к пониманию широты проблем, решаемых рассматриваемым подходом, что позволило ему сформулировать метод асимптотического анализа марковизируемых систем [3].

Математические модели функционирования сложных систем, например таких как системы массового обслуживания, случайные потоки однородных событий, рекуррентные статистики для оценки параметров и проверки гипотез о трендах временных рядов и потоков событий, компьютерных сетей связи, относятся к классу немарковских, но марковизируемых систем [54], т.е. немарковский процесс можно изменить так, чтобы он стал марковским. К методам марковизации относятся хорошо известные методы вложенных цепей Маркова, методы дополнительных переменных, методы кусочно-линейных марковских процессов.

Используя метод марковизации, задачу анализа математической модели рассматриваемой системы удается свести к решению различных уравнений или систем уравнений на основе уравнений Чепмена-Колмогорова.

Обычно встречаются системы линейных алгебраических уравнений большой размерности, уравнения и системы в конечных разностях, системы обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнения в частных производных первого порядка, интегральные и интегродифференциальные уравнения, а также все возможные их комбинации. Найти точное аналитическое решение этих уравнений, как правило, практически невозможно. Довольно часто оказывается полезным знание хотя бы их приближенного решения, которое получается в асимпто-

тическом случае, когда какой-либо из параметров исследуемой системы рассматривается в предельном случае.

Обычно анализируются ситуации, когда нагрузка СМО стремится к критической, когда интервал наблюдения неограниченно возрастает либо растет число измерений наблюдаемого процесса, когда возрастает число источников в сети связи, когда интенсивность повторного обращения в системах с источником повторных вызовов стремится к нулю.

Во всех этих случаях удается найти асимптотическую плотность распределения вероятностей нормированных соответствующим образом основных стохастических характеристик, обуславливающих функционирование исследуемой системы.

Предложенный метод асимптотического анализа марковизируемых систем обычно имеет два этапа.

На первом этапе удается определить асимптотические средние исследуемых характеристик системы, а на втором – распределение вероятностей величины отклонений рассматриваемых характеристик от их асимптотических средних. На этом этапе довольно часто получается асимптотически нормальное распределение, что является аналогом известных в теории вероятностей законов больших чисел и центральных предельных теорем. Но наряду с названными законами распределения часто встречаются и другие, например экспоненциальные, гамма-распределение и даже экзотические двумодальные распределения.

В монографии [3] этим методом проведены исследования марковских, а также немарковских моделей систем массового обслуживания, различных классов случайных потоков однородных событий, таких как рекуррентные потоки или потоки восстановления, дважды стохастические потоки, управляемые дискретными марковскими процессами, чисто разрывными процессами, диффузионными процессами и другие типы процессов. Исследованы статистики для оценки параметров и проверки статистических гипотез о трендах случайных потоков. Предпринята попытка исследований локальных вычислительных сетей с протоколами случайного множественного доступа.

3. Исследование математических моделей сетей связи с протоколами случайного множественного доступа

В классической литературе различают два класса СМО: системы с потерями (без очереди) и системы с ожиданиями при наличии буфера для ожидания заявок начала обслуживания, когда занят блок обслуживания. Математические модели сетей связи с протоколами случайного множественного доступа формируют третий класс СМО – системы с повторными вызовами, когда заявка, получившая отказ в обслуживании, переходит в источник повторных вызовов, в котором реализуется случайная задержка до повторного обращения с целью захвата канала связи

(прибора обслуживания). Впервые исследования такой модели выполнены А.А. Назаровым в [55].

Более подробные исследования для локальной вычислительной сети (ЛВС) с протоколом «простая Алоха» выполнены А.А. Назаровым и Н.М. Юревич [56–59], а для сети с протоколом «синхронная Алоха» – О.В. Ивановой и А.А. Назаровым [60]. Здесь определены основные вероятностно-временные характеристики сети и теоретически обосновано явление бистабильности [61], которое практически наблюдалось в первых реально

функционирующих сетях связи. Эти результаты защищены Н.М. Юревич в кандидатской диссертации.

Исследования А.А. Назарова и О.С. Бергман сетей с протоколами множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликта (МДКН/ОК) позволили выявить зависимость вероятностно-временных характеристик сети от стратегии контроля несущей [62].

Сети с протоколами случайного множественного доступа для входящих потоков с постоянной интенсивностью не имеют стационарных режимов, тем не менее могут функционировать достаточно устойчиво. Этим исследованиям посвящена работа [63].

В настоящее время ведутся интенсивные исследования сетей связи с динамическими и адаптивными протоколами доступа – работы С.Л. Шохора [64], Д.Ю. Кузнецова [65], а также сетей интегрального обслуживания – работа Н.Ю. Марголис [66].

Более детальное, с технической точки зрения, изучение спутниковых сетей связи было проведено А.А. Назаровым и С.Б. Пичугиным [67, 68]. Ими получен патент [69] на техническое решение протокола доступа с обобщением к спутнику-ретранслятору. Эти результаты защищены С.Б. Пичугиным в кандидатской диссертации.

Кроме сетей связи с протоколами случайного множественного доступа исследованы и другие сети связи. Так, М.Ш. Вайндер в работах [70, 71] рассмотрел кольцевые сети связи. Эти результаты защищены в его кандидатской диссертации. А.В. Зоркальцев изучил проблему распределения буферной памяти узла коммутации [72] глобальной сети.

Близкие к этим исследования проведены А.А. Назаровым и А.А. Южаковым при анализе управляемых адаптивных терминальных измерительных систем [73–75]. Решение этой практической задачи дало возможность получить два интересных теоретических результа-

та: сформулировать и доказать критерий эквивалентности уравнений глобального и детального балансов для цепей Маркова [76], что позволяет находить стационарное распределение вероятностей состояний цепи в явном виде, а также найти условия мультипликативности стационарного распределения состояний многолинейной немарковской системы обслуживания при неоднородном входящем потоке [77]. Эти результаты защищены А.А. Южаковым в докторской диссертации.

Развитие этих идей позволило А.А. Назарову вернуться к классическим формулам Эрланга и Энгсета, полученным для марковских моделей в начале XX в. при анализе узла коммутации телефонной станции. Их попытки обобщить эти результаты на случай неэкспоненциальной продолжительности телефонных разговоров не увенчались успехом. И лишь в 1957 г. Б.А. Севастьяновым решена эта проблема анализа многолинейной СМО с произвольным рекуррентным обслуживанием, на вход которой поступает простейший поток заявок.

Использование телефонных каналов для связи ЭВМ и передачи разнородной информации (данные, речь, изображение и т.д.) ставит задачу исследования СМО с несколькими входящими потоками, заявки которых имеют различные функции распределения времени обслуживания. Более того, некоторые заявки могут требовать для своего обслуживания несколько приборов, т.е. возникла необходимость исследования неоднородных немарковских систем обслуживания. Эта проблема решена А.А. Назаровым в [78], где получено обобщение на рассматриваемую ситуацию формул Энгсета, Эрланга и показаны их многочисленные применения к исследованию различных сетей связи. В частности, рассмотрены сети коммутации каналов, интегральные сети связи, сети пакетной передачи, когда по различным каналам отправляются все пакеты, составляющие одно сообщение, и другие сети.

4. Исследование систем массового обслуживания с переменными параметрами

Системы массового обслуживания с переменными параметрами являются более адекватной моделью, чем однородные СМО для многих реальных систем, хотя бы таких как сети ЭВМ с коммутацией пакетов, поэтому естественны исследования И.А. Коротаева систем обслуживания с изменяющимися детерминированным или случайным образом параметрами. Для элементов реальных сетей интенсивность входящего потока изменяется достаточно редко, поэтому предположение о таком характере изменения интенсивности используется в его исследованиях довольно широко, что позволило получить результаты в замкнутой форме (хотя и приближенно). Системы, им рассматриваемые, достаточно традиционны и отличаются от классических СМО лишь тем, что их параметры изменяются во времени. Исключение составляют лишь СМО с групповым обслуживанием заявок и обратной связью.

В [79] И.А. Коротаев и Н.И. Головки рассмотрели СМО с пуассоновским входящим потоком и обслуживанием, обладающим свойством отсутствия последствия, которое иногда называют экспоненциальным с параметром, являющимся детерминированной функцией

времени. Полагая эти изменения достаточно медленными, определяемыми малым параметром, получено разложение нестационарного распределения по малому параметру. При этом нулевое приближение дает стационарное распределение. Эти результаты защищены Н.И. Головки в кандидатской диссертации.

Рассмотрены системы с ненадежным прибором и системы со случайно изменяющимися параметрами. Выделены системы, на вход которых поступают дважды стохастические потоки как СМО, функционирующие в случайной среде, к исследованию которых применяется метод малого параметра. И.А. Коротаев изучает задачи адаптации к неизвестной или изменяющейся интенсивности входящего потока, которые развивают ранее полученные результаты А.М. Горцева и А.А. Назарова. Рассмотрены задачи адаптивного управления интенсивностью обслуживания и управления работой резервного прибора [80,81]. В этих исследованиях участвовал И.А. Ташлинский, защитивший результаты в кандидатской диссертации. Полное их изложение можно найти в монографии И.А. Коротаева [4].

5. Анализ трендов временных рядов и случайных потоков однородных событий

Данное научное направление состоит из двух частей, объединенных общей методологией: выделение трендов (медленных изменений) статистических характеристик нестационарных процессов при условии, что моменты наблюдения образуют случайный поток однородных событий, в частности простейший поток, и выделение трендов нестационарных потоков, таких как пуассоновские или рекуррентные потоки. В последнем случае понятие тренда трактуется как медленное изменение во времени интенсивности поступления событий.

При решении первой проблемы предполагается, что в качестве математической модели изменения статистических характеристик берутся параметрические модели, и задача выделения тренда сводится к оценке неизвестных параметров, входящих в математическую модель тренда.

Когда в качестве случайного процесса рассматриваются авторегрессионные модели, то Ф.Ф. Идрисовым оцениваются параметры авторегрессии как одномерной [82], так и многомерной [83]. Особый интерес представляют оценки параметров функции корреляции и спектра мощности случайных процессов [83–88]. Определяющим отличием от разработанных другими авторами методов статистического оценивания является то, что или имеются случайные пропуски наблюдений [83], либо изменения производятся в случайные моменты времени [84–88], либо моменты измерений вовсе неизвестны. Другими словами, исследуются дважды стохастические временные ряды. Эта более

сложная математическая модель наблюдений приводит к усложнению алгоритмов оценивания неизвестных параметров и значительно усложняет исследование статистических свойств полученных оценок.

Достаточно продуктивным классом оценок являются так называемые сплайновые оценки, широко использованные А.Ф. Терпуговым и Б.Е. Тривоженко [7], а также Ф.Ф. Идрисовым [89, 90]. Сплайновая модель приводит к рекуррентным алгоритмам выделения трендов. Здесь необходимо проводить их исследование на устойчивость, в противном случае вводить параметр, регуляризирующий статистические процедуры. Решать задачи оптимального выбора параметров регуляризации.

При решении задач выделения трендов нестационарных потоков в качестве основной модели берется пуассоновский поток, а в качестве модели тренда интенсивности – либо полиномиальные модели, либо сплайновые. В этом случае, как и для временных рядов [91], строятся алгоритмы выделения трендов, исследуются их статистические свойства [92]. Более сложными моделями потоков являются дважды стохастические пуассоновские [93] и рекуррентные. В последнем случае, как и для пуассоновского потока, Б.Е. Тривоженко предлагаются алгоритмы выделения трендов и исследование их статистических характеристик как для конечных объемов выборок, так и в асимптотическом случае неограниченного роста интервала наблюдений. Часть этих исследований опубликована в монографии Б.Е. Тривоженко [7].

6. Исследование дважды стохастических потоков однородных событий

Системы и сети массового обслуживания (СМО, СеМО) являются широко применяемой математической моделью реальных физических, технических, экономических и других объектов и систем. Случайные потоки событий, являющиеся основными элементами СМО и СеМО, в свою очередь, широко используются в качестве математических моделей реальных процессов. В частности, информационные потоки заявок, циркулирующие в системах и сетях связи, измерительных системах, вычислительных сетях, потоки элементарных частиц (фотонов, электронов и т.д.), поступающие на регистрирующие приборы в физических экспериментах, достаточно адекватно описываются случайными потоками событий.

Условия функционирования реальных объектов и систем таковы, что если в отношении параметров обслуживающих устройств можно сказать, что они известны и с течением времени не меняются, то в отношении интенсивностей входящих потоков этого во многих случаях нельзя. Более того, интенсивности входящих потоков заявок обычно меняются со временем, часто эти изменения носят случайный характер, что приводит к рассмотрению математических моделей дважды стохастических потоков событий. С другой стороны, режимы функционирования СМО и СеМО непосредственно зависят от интенсивностей потоков событий. Вследствие этого важной задачей является оценка в произвольный

момент времени состояний интенсивности потока событий и параметров потока по наблюдениям за этим потоком.

Одними из первых работ в этом направлении являются работы А.М. Горцева и Л.А. Нежелской [94–97], в которых рассматривается задача оценки состояния дважды стохастического потока событий, когда интенсивность потока есть случайный скачкообразный марковский процесс с двумя состояниями (или МС-поток событий). К этим работам непосредственно примыкают работы А.М. Горцева, Л.А. Нежелской, Т.И. Шевченко, И.С. Шмырина [98, 103, 105], в которых рассматривается задача оценки состояний дважды стохастического потока событий в условиях, когда измерения моментов наступления событий содержат ошибку, распределенную по нормальному закону. Подавляющее число авторов рассматривают математические модели потоков в предположении, что моменты времени наступления событий измеряются без ошибок. Однако приборы, регистрирующие моменты наступления событий, привносят в измерения различного рода ошибки, которые необходимо учитывать при вынесении статистических решений. В [94, 95] предлагаются эмпирические алгоритмы оценки состояний дважды стохастического потока событий; в [96] рассматривается подход к оценке состояний, основанный на результатах теории условных марковских процессов,

позволяющий получить оптимальную оценку состояний дважды стохастического потока событий. В [98] использован эмпирический алгоритм оценки состояний дважды стохастического потока событий при наличии ошибок в измерениях моментов времени наступления событий, основанный на введении в рассмотрение весовой функции наблюдений, учитывающей их старение. В [103, 105] решается задача оптимальной оценки состояний дважды стохастического потока событий при наличии ошибок в измерениях моментов времени наступления событий, находятся выражения для апостериорных вероятностей состояний. Решение о состоянии потока выносится по критерию максимума апостериорной вероятности. Работа А.М. Горцева, Р.Т. Куснатдинова [104] является обобщением [96]. В ней рассматривается дважды стохастический поток событий с произвольным числом состояний и находятся апостериорные вероятности этих состояний, а также приводится алгоритм оптимальной оценки состояний с учетом эффекта «мертвого» времени. Работы А.М. Горцева, И.С. Климова, И.С. Шмырина, Л.А. Нежелской посвящены вопросам оценки параметров дважды стохастического потока событий. В [99, 100] рассматривается задача оценки параметров методом моментов для частного случая дважды сто-

хастического потока – альтернирующего потока событий. В [108] предлагается алгоритм, реализующий оптимальную оценку параметров дважды стохастического потока событий при наличии ошибок в измерениях моментов наступления событий, при этом ошибки независимы и распределены по нормальному закону. А.М. Горцев, Л.А. Васильева, И.С. Климов, М.Е. Паршина [101, 102, 106, 107] рассматривают задачи оценки параметров пуассоновского, альтернирующего и дважды стохастического потока событий в условиях эффекта «мертвого» времени. В большинстве случаев исследуются потоки событий в ситуациях, когда события потока полностью доступны наблюдению. Однако на практике возможны случаи, когда событие потока может повлечь за собой ненаблюдаемость последующих событий потока. В качестве примера можно привести канал связи при передаче информации аномальных ошибок, связанных с отказами датчиков, сбоями связи и другими причинами, когда в течение времени отказа полезная информация оказывается недоступной наблюдению. В [101] оценивание периода «мертвого» времени и параметра потока событий осуществляется методом максимального правдоподобия, в [102, 106, 107] оценивание осуществляется методом моментов.

7. Идентификация моделей и сглаживание сплайнами экспериментальных данных

Данное научное направление, развиваемое К.И. Лившицем, состоит из двух частей: проблемы идентификации линейных систем [109–112] и задачи сглаживания сплайнами экспериментальных данных [113–117]. В первом рассматривались задачи идентификации линейных динамических систем по наблюдениям над входными и выходными сигналами [109, 110]. В основе идентификации лежит параметрический подход, при котором задается параметрическая модель импульсной переходной функции (ИПФ) [111, 112] системы и затем оцениваются параметры этой модели. Основное отличие используемых подходов к оцениванию состоит в том, что предлагаемые методы оценивания позволяют строить оценки, которые не зависят от возможной неадекватности используемой модели ИПФ, например от неправильного выбора порядка модели. В этом смысле оценки относятся к классу робастных.

Второе направление, близкое к направлению пятого раздела данного обзора, рассматривает задачи выделения тренда временного ряда. В основе предлагаемого подхода лежит предположение, что априорной информации недостаточно для построения простой парамет-

рической модели тренда, либо рассматривается длинная нестационарная серия наблюдений, причем на отдельных участках временной тренд ведет себя существенно по-разному. В таких ситуациях выгодно разбить наблюдаемый процесс на отдельные участки, на каждом из которых может быть построена простая параметрическая модель, адекватная измерениям, а на границах участков провести сглаживание моделей, т.е. целесообразно использование сплайновых моделей [113–125]. Исследовались и оптимизировались различные алгоритмы оценки параметров сплайнов (алгоритмы методов наименьших квадратов [114], оптимальные линейные алгоритмы [113], нелинейные алгоритмы [115]). Рассмотрены также алгоритмы проверки гипотез о наличии тренда случайного процесса на основе сплайновых моделей.

Определенная часть результатов этого направления защищена в кандидатской диссертации Л.Ю. Сухотиной, а наиболее полное их изложение приведено в монографии [8].

Этот подход применен к решению задачи адаптивного обнаружения сигнала [114] и при рассмотрении некоторых прикладных задач [117].

8. Поиск движущегося сигнала в многоканальной системе

В основе рассматриваемого научного направления лежат работы профессора А.Ф. Терпугова, появившиеся в 60-е гг. В то время рассматривались задачи поиска неподвижного сигнала в многоканальной системе. Выходит цикл работ А.Ф. Терпугова, Л.Е. Радюк, Ф.А. Шапиро по исследованию оптимального алгоритма поиска на дискретных накопи-

телях и совершенствованию двухэтапных процедур. Эти результаты защищены в кандидатских диссертациях Л.Е. Радюк и Ф.А. Шапиро. Наиболее полное их изложение приведено в монографии [6].

Со временем условие неподвижности сигнала перестало удовлетворять требованиям практики. С этих пор основные усилия сосредоточены на раз-

работке и исследовании алгоритмов поиска, учитывающих перемещение сигнала по каналам. Выбранные методы исследования во многом опираются на результаты К.Ш. Зигангирова, но ориентированы на простоту технической реализации предлагаемых алгоритмов поиска с широким применением информационных систем. Кроме того, была поставлена задача обязательного аналитического исследования характеристик алгоритмов для обеспечения возможности оперативного управления в процессе поиска.

Основная идея, на которой строятся алгоритмы – прерывание поочередного просмотра каналов – высказана А.Ф. Терпуговым, реализована под его руководством в [118–123], составивших основу моно-

графии [5] и защищенных в докторской диссертации Ю.М. Тонконогова. Им рассмотрены различные модели движения сигнала, основные направления в решении задач поиска, такие как методы теории оптимального управления в теории поиска, статистический подход к решению этих задач, алгоритм К.Ш. Зигангирова, двухэтапные алгоритмы поиска и другие. Определены основные характеристики алгоритмов поиска: среднее время поиска, вероятность пропуска сигнала, распределение вероятностей времени обнаружения канала с сигналом, вероятность ложной тревоги. Рассмотрены задачи управления энергией [120], поиск сигнала с учетом постепенности его появления [123].

ЛИТЕРАТУРА

1. Горцев А.М., Назаров А.А., Терпугов А.Ф. Управление и адаптация в системах массового обслуживания. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1978. 208 с.
2. Назаров А.А. Управляемые системы массового обслуживания и их оптимизация. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1994. 234 с.
3. Назаров А.А. Асимптотический анализ марковизуемых систем. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1991. 158 с.
4. Коротаев И.А. Системы массового обслуживания с переменными параметрами. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1991. 166 с.
5. Тонконогов Ю.М. Поиск движущегося сигнала в многоканальной системе. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. 195 с.
6. Радюк Л.Е., Терпугов А.Ф., Шапиро Ф.А. Поиск сигнала в многоканальной системе. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981. 126 с.
7. Тривоженко Б.Е. Выделение временных рядов и потоков событий. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. 285 с.
8. Лившиц К.И. Сглаживание экспериментальных данных. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1991. 180 с.
9. Терпугов А.Ф. Математическая статистика. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1974. 143 с.
10. Лившиц К.И. Идентификация. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981. 131 с.
11. Терпугов А.Ф. Функциональный анализ. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1982. 166 с.
12. Трусов В.С. Теория эксперимента. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1983. 183 с.
13. Тривоженко Б.Е. Математические модели естествознания. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1985. 87 с.
14. Радюк Л.Е., Терпугов А.Ф. Теория вероятностей и случайных процессов. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1988. 174 с.
15. Терпугова Н.С. Методы математической физики. Часть I. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1984. 143 с.
16. Терпугова Н.С. Методы математической физики. Часть II. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1985. 171 с.
17. Терпугов А.Ф. Экономико-математические модели. Томск: Изд-во ТГПУ, 1999. 165 с.
18. Горцев А.М. Системы массового обслуживания с резервным каналом // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1975. № 6. С. 85.
19. Горцев А.М. Оптимальное управление включением группы резервных приборов в однолинейной системе массового обслуживания // Автоматика и телемеханика. 1975. № 12. С. 78–87.
20. Горцев А.М. Об оптимальной стратегии включения второго или резервного канала в однолинейной системе массового обслуживания // Автоматика и телемеханика. 1977. № 1. С. 179–187.
21. Горцев А.М. Управление включением резервного прибора при косвенных наблюдениях за очередью // Автоматика и телемеханика. 1977. № 8. С. 25–30.
22. Горцев А.М. Системы массового обслуживания с произвольным числом резервных каналов и гистерезисным управлением включением и выключением резервных каналов // Автоматика и телемеханика. 1977. № 10. С. 30–37.
23. Назаров А.А., Терпугов А.Ф. Дисциплина обслуживания с выбором из большей очереди // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1975. № 2. С. 103–105.
24. Назаров А.А. Нахождение оптимальной дисциплины обслуживания в системе с динамическими приоритетами // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1975. № 4. С. 64–68.
25. Назаров А.А. Оптимальное формирование очередей в многоканальных системах массового обслуживания // Автоматика и телемеханика. 1975. № 8. С. 36–39.
26. Назаров А.А. Нахождение оптимальных динамических приоритетов // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1976. № 3. С. 101–104.
27. Назаров А.А., Терпугов А.Ф. Адаптация в управляемых системах массового обслуживания // Автоматика и телемеханика. 1976. № 7. С. 76–79.
28. Назаров А.А., Терпугов А.Ф. Нахождение оптимальных динамических приоритетов при косвенных наблюдениях // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1977. № 6. С. 85–90.
29. Назаров А.А. Оптимальное формирование очередей в многоканальных СМО при косвенных наблюдениях // Проблемы передачи информации. 1977. № 1. С. 104–108.
30. Рыков В.В. Управляемые системы массового обслуживания // Итоги науки и техники. Сер. Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика. Вып. 12. М., 1975.
31. Назаров А.А. Адаптация интенсивности обслуживания к неизвестному параметру входящего потока автоматом с целесообразным поведением // Автоматика и вычислительная техника. 1979. № 5. С. 56–61.
32. Назаров А.А. Об адаптивных СМО, управляемых автоматом с линейной тактикой // Автоматика и вычислительная техника. 1979. № 5. С. 99–103.
33. Назаров А.А. Адаптивные распределения заявок по приборам различной производительности // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1979. № 5. С. 115–119.
34. Назаров А.А. Адаптивное включение резервного прибора автоматом с целесообразным поведением // Автоматика и телемеханика. 1981. № 3. С. 170–174.
35. Горцев А.М., Иволина Н.А., Проскурина Л.В. Адаптивное управление включением резервного канала в однолинейной системе массового обслуживания // Автоматика и телемеханика. 1978. № 10. С. 78–86.
36. Горцев А.М., Потосина С.А. Структурная адаптация двухлинейной системы массового обслуживания со вспомогательным прибором // Автоматика и телемеханика. 1980. № 5. С. 43–49.
37. Горцев А.М. Адаптивная модель управления резервной ЭВМ в вычислительной системе при больших нагрузках // Автоматика и вычислительная техника. 1981. № 1. С. 44–51.
38. Горцев А.М., Полетаев Ю.М. Определение характеристик обслуживания «засоренного» потока заявок // Техника средств связи. Сер. Системы связи. 1984. № 1. С. 44–51.
39. Горцев А.М., Пастухов С.И., Полетаев Ю.М. Оптимизация обслуживания «засоренного» потока заявок на входе аппаратной управления связью // Техника средств связи. Сер. Системы связи. 1984. № 1. С. 52–58.
40. Горцев А.М. Адаптивное управление потоками задач в вычислительной системе // Автоматика и вычислительная техника. 1982. № 6. С. 53–60.
41. Горцев А.М., Василевская Т.П. Адаптивное управление распределением сообщений в вычислительной системе // Техника средств связи. Сер. Системы связи. 1986. № 1. С. 3–9.
42. Горцев А.М. Управление и адаптация в системах массового обслуживания с переменной структурой. Киев: Знание, 1989. 19 с.
43. Горцев А.М. Оптимизация стратегии обслуживания несимметричным резервным каналом с учетом потерь на включение и выключение резервного канала // Кибернетика. 1982. № 4. С. 43–50.
44. Горцев А.М. Управление обслуживанием симметричного резервного канала по косвенным наблюдениям за очередью // Кибернетика. 1985. № 2. С. 83–90.
45. Горцев А.М., Катаева С.С. Оптимизация подключения резервного прибора в вычислительной системе с двумя ЭВМ // Техника средств связи. Сер. Системы связи. 1989. № 7. С. 12–18.
46. Горцев А.М., Катаева С.С. Оптимизация гистерезисного управления резервным каналом в вычислительной системе с двумя ЭВМ // Техника средств связи. Сер. Системы связи. 1990. № 7. С. 3–8.
47. Горцев А.М., Катаева С.С. Оптимальное подключение несимметричного резервного прибора к однолинейной СМО в нестационарных условиях // Радиотехника. 1994. № 8. С. 20–24.
48. Горцев А.М., Катаева С.С. Оптимизация гистерезисной дисциплины обслуживания

несимметричным резервным каналом // Изв. вузов. Физика. 1996. № 4. С. 3–10. 49. Назаров А.А. Оптимизация СМО в конфликтных ситуациях и игры на единичном квадрате с дробно-рациональными функциями выигрыша // Проблемы управления и теория информации. 1979. № 8. С. 179–192. 50. Назаров А.А., Тертугов А.Ф. Асимптотически оптимальное формирование очередей в многоканальных системах массового обслуживания при больших нагрузках // Автоматика и телемеханика. 1977. № 9. С. 53–57. 51. Назаров А.А. Асимптотически оптимальное правило формирования очередей по косвенным наблюдениям // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1978. № 6. С. 111–117. 52. Назаров А.А., Чекунов В.А. Анализ и оптимизация систем массового обслуживания с динамическими по числу требований приоритетами при большой нагрузке // Автоматика и телемеханика. 1984. № 10. С. 78–87. 53. Зоркальцев А.В., Назаров А.А. Асимптотический анализ задержки эшелона кадров в информационном канале сети ЭВМ с коммутацией пакетов // Автоматика и вычислительная техника. 1986. № 5. С. 19–25. 54. Кениг Д., Штойян Д. Методы теории массового обслуживания. М.: Радио и связь. 1981. 55. Назаров А.А. Асимптотический анализ многолинейных систем массового обслуживания с повторными вызовами // Автоматика и вычислительная техника. 1990. № 3. С. 65–71. 56. Назаров А.А., Юревич Н.М. Исследование сети с протоколом случайного множественного доступа Алоха без повторной передачи искаженных сообщений // Автоматика и вычислительная техника. 1993. № 3. С. 52–56. 57. Назаров А.А., Юревич Н.М. Исследование сети со статическим h -настойчивым протоколом случайного множественного доступа Алоха // Автоматика и вычислительная техника. 1995. № 1. С. 68–78. 58. Назаров А.А., Юревич Н.М. Исследование сети с динамическим протоколом случайного множественного доступа Алоха // Автоматика и вычислительная техника. 1995. № 6. С. 53–59. 59. Назаров А.А., Юревич Н.М. Исследование явления бистабильности в сети с протоколом Алоха для конечного числа станций // Автоматика и телемеханика. 1996. № 9. С. 91–100. 60. Иванова О.В., Назаров А.А. Асимптотический анализ протокола множественного доступа «синхронная Алоха» к локальной сети // Радиотехника. 1991. № 5. С. 20–24. 61. Назаров А.А. Исследование явления бистабильности в спутниковых сетях связи // Автоматика и телемеханика. 1994. № 10. С. 117–124. 62. Бергман О.С., Назаров А.А. Сравнение стратегий контроля несущей в протоколе МДКН/ОК // Автоматика и вычислительная техника. 1996. № 2. С. 59–68. 63. Назаров А.А. Устойчивое функционирование нестабильных сетей связи с протоколами случайного множественного доступа // Проблемы передачи информации. 1997. № 2. С. 101–111. 64. Назаров А.А., Шохор С.Л. Исследование управляемого несинхронного множественного доступа в спутниковых сетях связи с оповещением о конфликте // Проблемы передачи информации. 2000. № 1. С. 77–89. 65. Кузнецов Д.Ю., Назаров А.А. Исследование сетей связи с адаптивными протоколами случайного множественного доступа в условиях перегрузки для конечного числа станций // Автоматика и телемеханика. 1999. № 12. С. 99–113. 66. Марголис Н.Ю., Назаров А.А. Исследование сети интегрального обслуживания с гибридной коммутацией речи и данных и подвижной границей между ресурсами связи // Автоматика и вычислительная техника. 1999. № 3. С. 48–58. 67. Назаров А.А., Пичугин С.Б. Исследование спутниковой сети связи методом математического моделирования // Изв. вузов. Физика. 1992. № 9. С. 120–127. 68. Неволько М.П., Назаров А.А., Пичугин С.Б. Аналитические соотношения для расчета производительности спутниковой сети связи с множественным доступом // Изв. РАН. Техническая кибернетика. 1993. № 6. С. 90–97. 69. Назаров А.А., Пичугин С.Б. Спутниковая сеть связи «Томь» // Патент РФ. № 201043С1, МКИНО 487/185. Оpub. 30.09.94. Бюл. № 6. 70. Ямпольский В.З., Вайндер М.Ш., Назаров А.А. Асимптотический метод исследования кольцевой локальной вычислительной сети // Кибернетика и ВУЗ. 1987. № 22. С. 149–156. 71. Вайндер М.Ш., Назаров А.А. Анализ и расчет характеристик звездообразной локальной сети // Техника средств связи. 1998. № 4. С. 72–79. 72. Зоркальцев А.В., Назаров А.А. Об адаптивном распределении буферной памяти узла коммутации пакетов // Автоматика и телемеханика. 1997. № 9. С. 176–184. 73. Назаров А.А., Наулик М.Н., Южаков А.А. Анализ математической модели адаптивной терминальной измерительной системы // Автоматика и телемеханика. 1993. № 11. С. 108–119. 74. Назаров А.А., Южаков А.А. Исследование и оптимизация управляемой адаптивной терминальной системы // Автоматика и телемеханика. 1996. № 4. С. 96–100. 75. Назаров А.А., Южаков А.А. Исследование предельной математической модели терминальной измерительной системы // Автоматика и вычислительная техника. 1998. № 1. С. 47–52. 76. Назаров А.А., Южаков А.А. Критерий эквивалентности управлений глобального и детального балансов для цепей Маркова // Автоматика и телемеханика. 1995. № 2. С. 71–78. 77. Назаров А.А., Южаков А.А. Мультипликативность стационарного распределения состояний многолинейной немарковской системы обслуживания при неоднородном входящем потоке // Автоматика и телемеханика. 1997. № 4. С. 113–120. 78. Назаров А.А. Формулы Энгсета для неоднородных немарковских систем массового обслуживания и их применение в сетях связи // Проблемы передачи информации. 1998. № 2. С. 109–116. 79. Головкин Н.И., Коротаев И.А. Время задержки сообщения в узле сети при переменной интенсивности входящего потока // Автоматика и вычислительная техника. 1989. № 2. С. 36–39. 80. Коротаев И.А., Тертугов А.Ф. Приближенный расчет характеристик адаптирующейся резервной ЭВМ // Автоматика и вычислительная техника. 1982. № 4. С. 83–87. 81. Коротаев И.А., Тертугов А.Ф. Приближенный расчет характеристик адаптирующихся многолинейных систем массового обслуживания со вспомогательными приборами // Автоматика и вычислительная техника. 1982. № 6. С. 61–65. 82. Идрисов Ф.Ф. Оценка параметров многомерной авторегрессионной модели при наличии аномальных ошибок // Изв. вузов. Физика. 1993. Т. 36. № 12. С. 86–92. 83. Идрисов Ф.Ф. Оценка параметров многомерной авторегрессионной модели при случайных пропусках измерений // Изв. вузов. Физика. 1994. Т. 37. № 2. С. 43–54. 84. Идрисов Ф.Ф., Ткаченко В.Н. Ядерные оценки функции корреляции и спектра мощности случайного процесса при измерениях в случайные моменты времени // Изв. вузов. Физика. 1994. Т. 37. № 2. С. 55–66. 85. Идрисов Ф.Ф. Выделение тренда временных рядов при измерениях в случайные моменты времени // Изв. вузов. Физика. 1995. Т. 38. № 3. С. 3–10. 86. Идрисов Ф.Ф. Оценка функции корреляции случайного процесса при измерениях в случайные моменты времени // Изв. вузов. Физика. 1995. Т. 38. № 3. С. 11–16. 87. Идрисов Ф.Ф. Оценка функции корреляции и спектра мощности гауссовского случайного процесса при измерениях в случайные моменты времени // Радиотехника. 1995. № 9. С. 3–9. 88. Идрисов Ф.Ф. Полиномиальные оценки функции корреляции при измерениях в случайные моменты времени // Изв. вузов. Физика. 1996. Т. 39. № 4. С. 17–22. 89. Идрисов Ф.Ф. Сплайновая оценка мощности при измерениях в случайные моменты времени // Изв. вузов. Физика. 1997. Т. 40. № 4. С. 27–31. 90. Идрисов Ф.Ф. Оценивание сплайнами функции корреляции и спектра мощности при измерениях в случайные моменты времени // Изв. вузов. Физика. 1997. Т. 40. № 4. С. 32–37. 91. Идрисов Ф.Ф. Выделение тренда временных рядов при наличии ошибок в измерениях моментов времени // Изв. вузов. Физика. 1996. Т. 39. № 4. С. 11–16. 92. Тривоженко Б.Е. Оценка интенсивности нестационарного пуассоновского потока путем кусочно-линейной аппроксимации // Техника средств связи. 1986. № 4. С. 1–6. 93. Идрисов Ф.Ф. Оценка функции корреляции и спектра интенсивности дважды стохастического пуассоновского потока // Радиотехника. 1996. № 2. С. 3–7. 94. Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оптимизация параметров адаптера при наблюдениях за МС-потоком // Стохастические и детерминированные модели сложных систем. Новосибирск: Изд-во ВЦ СО АН СССР, 1988. С. 20–32. 95. Горцев А.М., Нежелская Л.А. Алгоритм оценивания состояний МС-потока // Сетеметрия, анализ и моделирование информационно-вычислительных сетей. Куйбышев: Изд-во АН СССР, научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1998. С. 28–38. 96. Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оптимальная нелинейная фильтрация марковского потока событий с переключениями // Техника средств связи. Сер. Системы связи. 1989. № 8. С. 46–54. 97. Горцев А.М., Климов И.С. Оценка интенсивности пуассоновского потока событий в условиях частичной его наблюдаемости // Радиотехника. 1991. № 12. С. 3–7. 98. Горцев А.М., Нежелская Л.А., Шевченко Т.И. Оценивание состояний МС-потока событий при наличии ошибок измерений // Изв. вузов. Физика. 1993. № 12. С. 67–85. 99. Горцев А.М., Климов И.С. Оценивание параметров альтернирующего пуассоновского потока событий // Радиотехника. 1994. № 8. С. 3–9. 100. Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оценка параметров синхронно-альтернирующего пуассоновского потока событий методом моментов // Радиотехника. 1995. № 7–8. С. 11–15. 101. Горцев А.М., Климов И.С. Оценивание периода ненаблюдаемости

и интенсивности пуассоновского потока событий // Радиотехника. 1996. № 2. С. 8–11. 102. Горцев А.М., Завгородняя М.Е. Оценка параметров альтернирующего потока событий при условии его частичной наблюдаемости // Оптика атмосферы и океана. 1997. 10. № 3. С. 273–280. 103. Горцев А.М., Шмырин И.С. Оптимальный алгоритм оценки состояний МС-потока событий при наличии ошибок в измерениях моментов времени // Оптика атмосферы и океана. 1998. Вып. 11. № 4. С. 419–429. 104. Горцев А.М., Куснатдинов Р.Т. Оценивание состояний МС-потока событий при его частичной наблюдаемости // Изв. вузов. Физика. 1998. № 4. С. 22–30. 105. Горцев А.М., Шмырин И.С. Оптимальная оценка состояний дважды стохастического потока событий при наличии ошибок в измерениях моментов времени // Автоматика и телемеханика. 1999. № 1. С. 52–66. 106. Горцев А.М., Васильева Л.А. Оценивание параметров МС-потока событий при условии его частичной наблюдаемости // Математическое моделирование. Кибернетика. Информатика. Томск: Изд-во Том. ун-та. 1999. С. 34–41. 107. Горцев А.М., Паршина М.Е. Оценивание параметров альтернирующего потока событий в условиях «мертвого» времени // Изв. вузов. Физика. 1999. № 4. С. 8–13. 108. Горцев А.М., Шмырин И.С. Оптимальная оценка параметров дважды стохастического пуассоновского потока событий при наличии ошибок в измерениях моментов наступления событий // Изв. вузов. Физика. 1999. № 4. С. 19–27. 109. Лившиц К.И., Терпугов А.Ф. О выборе сигналов для идентификации линейных систем по методу наименьших квадратов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1974. № 5. С. 205–210. 110. Лившиц К.И., Терпугов А.Ф. Идентификация линейных систем биортогональными системами функций // Автоматика и телемеханика. 1974. № 9. С. 174–177. 111. Лившиц К.И. Определение переходной характеристики канала связи при передаче информации // Известия вузов. Радиоэлектроника. 1976. № 4. С. 79–83. 112. Лившиц К.И., Сухотина Л.Ю., Терпугов А.Ф. Определение переходной характеристики канала связи с медленно меняющимися параметрами // Известия вузов. Радиоэлектроника. 1989. № 1. С. 28–32. 113. Лившиц К.И. Выделение тренда случайного процесса сплайнами первого порядка // Автометрия. 1987. № 3. С. 30–37. 114. Лившиц К.И. Оценка параметров сплайноподобной модели временного ряда методом наименьших квадратов // Автоматика и телемеханика. 1990. № 8. С. 64–70. 115. Лившиц К.И., Сухотина Л.Ю. Сглаживание временных рядов сплайнами первого порядка при неквадратичной функции потерь // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1990. № 3. С. 222. 116. Лившиц К.И. Адаптивное обнаружение неизвестного сигнала с использованием кусочно-линейной аппроксимации // Радиотехника и электроника. 1987. № 10. С. 2089–2096. 117. Еремеев В.Г., Лецинский Д.М., Лившиц К.И., Мостинский Р.С. Оценки статистических характеристик суммарного процесса помех в системах связи на железнодорожном транспорте // Радиотехника. 1994. № 8. С. 15–20. 118. Терпугов А.Ф., Тонконогов Ю.М. Поиск движущегося сигнала в многоканальной системе методом вырожденного последовательного анализа // Проблемы передачи информации. 1981. № 2. С. 69–74. 119. Тонконогов Ю.М. Поиск движущегося сигнала в многоканальной системе // Известия вузов. Радиоэлектроника. 1982. № 7. С. 3–7. 120. Тонконогов Ю.М. Управление энергией при поиске сигнала в многоканальной системе // Известия вузов. Радиоэлектроника. 1984. № 12. С. 56–57. 121. Терпугов А.Ф., Тонконогов Ю.М. Поиск сигнала в многоканальной системе с учетом возможности его перемещения по каналам // Радиотехника и электроника. 1983. № 11. С. 2163–2168.

Статья поступила в научную редакцию 25 мая 2000г.