

SCCS



**Системы управления,
связи и безопасности**

**Systems of Control,
Communication and
Security**

№1 2017

ISSN 2410-9916
<http://sccs.intelgr.com>

«Системы управления, связи и безопасности»

Периодическое электронное издание сетевого распространения.

Научный журнал.

№ 1. I квартал 2017 г.

Учредитель журнала: ООО «Корпорация «Интел Групп»

Главный редактор: С.И. Макаренко, кандидат технических наук, доцент.

Редакционная коллегия:

А.В. Баженов, кандидат технических наук, профессор; П.А. Будко, доктор технических наук, профессор; В.В. Борисов, доктор технических наук, профессор; Е.В. Гречишников, доктор технических наук, профессор; Ю.А. Кропотов, доктор технических наук, профессор; В.И. Левин, доктор технических наук, профессор; Г.И. Линец, доктор технических наук, доцент; А.С. Марков, доктор технических наук, старший научный сотрудник; Р.Л. Михайлов, кандидат технических наук; Е.А. Новиков, доктор технических наук, доцент; С.С. Семенов, доктор технических наук, доцент.

Технический редактор: В.М. Коровин.

Ответственный секретарь: Л.А. Макаренко.

Адрес редакции и издателя журнала:

197372, Санкт-Петербург, пр. Богатырский, д. 32, к. 1 лит. А, пом. 6Н.

Тел.: (812) 945-50-63. Сайт журнала: <http://sccs.intelgr.com>.

E-mail: sccs@intelgr.com

Издается с апреля 2015 года. Выходит четыре раза в год.

Журнал зарегистрирован как сетевое издание в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (РОСКОМНАДЗОР), свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 - 61239 от 03.04.2015 г.

© ООО «Корпорация «Интел Групп», 2017

Содержание

Бейлекчи Д. В., Белов А. А., Ермолаев В. А., Кропотов Ю. А.	Передача синхронных потоков данных по асинхронным сетям пакетной связи со случайным множественным доступом	1
Осовецкий Л. Г., Суханов А. В., Ефимов В. В.	Меры по обеспечению безопасности и защиты информации для сложных информационных систем	16
Кропотов Ю. А.	Методы оценивания моделей плотности вероятностей акустических сигналов в телекоммуникациях аудиообмена	26
Алешкин А. П., Артюшкин А. Б., Дуников А. С., Никифоров С. В.	Алгоритм обнаружения и определения координат объекта с использованием двулучевого метода загоризонтной радиолокации	40
Левин В.И.	Полиинтервалы в задачах оптимизации неопределенных систем	49
Макаренко С. И.	Динамическая модель двунаправленного информационного конфликта с учетом возможностей сторон по наблюдению, захвату и блокировке ресурса	60
Новиков Е. А., Зиннуров С. Х.	Модель гибкого обслуживания трафика сложной структуры и алгоритм оперативного резервирования дополнительных каналов в земных станциях спутниковой связи	98
Семенов С. С., Педан А. В., Воловиков В. С., Климов И. С.	Анализ трудоемкости различных алгоритмических подходов для решения задачи коммивояжера	116

Шабанов А. П.	Инновации в консолидируемых организационных системах: технологическая совместимость систем управления	132
Левин В.И.	Математические методы оценки вклада ученого в науку	160
Ковальский А. А.	Организация адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи с учетом изменяющейся помеховой обстановки	175

«Systems of Control, Communication and Security»

Scientific electronic reviewed edition.

2017, No. 1.

Founder of Journal: Intel Group Corporation, ltd.

Chief-in-Editor: S. I. Makarenko, Ph.D. of Engineering Sciences, Docent.

Editorial Board:

A. V. Bazhenov, Ph.D. of Engineering Sciences. Full Professor;

V. V. Borisov, Dr. habil. of Engineering Sciences. Full Professor;

P. A. Budko, Dr. habil. of Engineering Sciences. Full Professor;

E. V. Grecihnikov, Dr. habil. of Engineering Sciences. Full Professor;

Y. A. Kropotov, Dr. habil. of Engineering Sciences. Full Professor;

V. I. Levin, Dr. habil. of Engineering Sciences. Professor. Ph.D., Full Professor;

G. I. Linec, Dr. habil. of Engineering Sciences. Docent;

A. S. Markov, Dr. habil. of Engineering Sciences. Docent;

R. L. Mikhailov, Ph.D. of Engineering Sciences;

E. A. Novikov, Dr. habil. of Engineering Sciences. Docent;

S. S. Semenov, Dr. habil. of Engineering Sciences. Docent.

Technical editor: V. M. Korovin.

Responsible editorial secretary: L. A. Makarenko.

Editor and Publishing House Address:

Bogatyirskiy pr, 32-1-A-6N, St. Petersburg 197372, Russia.

Phone: +7 812 945 50 63.

E-mail: sccs@intelgr.com

Published since 2015. The Journal is published 4 times a year.

Licensed ЭЛ № ФС 77 - 61239 on 03.04.2015 issued by Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Media (RosKomNadzor) of Russia.

CONTENTS

D. V. Beilegchi, A. A. Belov, V. A. Ermolaev, Y. A. Kropotov	Transmission of Synchronous Data Streams for an Asynchronous Packet Communication Networks with the Random Multiple Access	1
L. G. Osovetskiy, A. V. Sukhanov, V. V. Efimov	Measures to Ensure Security and Data Protection for Complex Information Systems	16
Y. A. Kropotov	Methods of estimation models of the acoustic signals probability density in telecommunications audio-exchange systems	26
A. P. Aleshkin, A. B. Artjushkin, A. S. Dunikov, S. V. Nikiforov	Algorithm of Detection and Determining Coordinates of Object for the Over the Horizon Radar Based on the Two-Beam Scanning Method	40
V. I. Levin	Polyintervals in Problems of Optimization of Indeterminate Systems	49
S. I. Makarenko	Dynamic Model of the Bi-directional Information Conflict to Take into Account Capabilities of Monitoring, Capturing and Locking of Information Resources	60
E. A. Novikov, S. Kh. Zinnurov	Flexible Service Model of Complex Traffic and Real-time Algorithm of Channel Reserve for Satellite Earth Stations	98
S. S. Semenov, A. V. Pedan, V. S. Volovikov, I. S. Klimov	Analysis of the Labor Intensity of Various Algorithmic Approaches for Solving the Traveling Salesman Problem	116
A. P. Shabanov	Innovation in the Consolidation of Organizational Systems: The Technological Compatibility of Control Systems	132

V. I. Levin	Mathematical Theory of Estimation of Contribution of Scientist to Science	160
A. A. Kovalsky	The Organization of Adaptive Multiplexing of a Traffic of Multiservice Networks in the Channeling Equipment of Land Satellite Communication System with Taking into Account the Changing Jamming Situation	175

УДК 621.391:681.326.35

Передача синхронных потоков данных по асинхронным сетям пакетной связи со случайным множественным доступом

Бейлекчи Д. В., Белов А. А., Ермолаев В. А., Кропотов Ю. А.

Постановка задачи: задача синхронизации дискретной информации по принимаемым пакетам данных в сетях с пакетной связью и случайным множественным доступом к среде передачи является актуальной. Такая задача возникает при взаимодействии источников и приемников информации и данных через каналы с пакетной передачей, скорость передачи в которых заранее является не известной. В подобных каналах обеспечивается асинхронный способ передачи информации. Поэтому в системах телекоммуникаций имеет место проблема разработки новых методов обмена информацией и формирования эффективной структуры организации тактовой синхронизации по поступающим пакетам данных. **Объектом исследования** являются каналы передачи дискретной информации, ориентированные на асинхронный способ передачи информации, а также каналы со случайным множественным доступом в системах телекоммуникаций обмена данными. **Целью работы** является разработка модели канала передачи дискретной информации, рассмотрение вопросов более эффективного обслуживания асинхронного трафика в сетях пакетной связи, разработка методов восстановления тактовой частоты источника в каналах с асинхронной передачей информации. **Используемые методы:** в работе использовался аппарат теории связи, теория массового обслуживания, теория незавершенного обслуживания, методы адаптивного регулирования, методы моделирования, сетевые технологии. **Научная новизна** работы заключается в рассмотрении вопросов формирования процесса синхронизации пакетной связи, рассмотрении методов восстановления тактовой частоты источника асинхронной передачи дискретной информации, исследовании модели формирования пакетов данных в каналах со случайным множественным доступом. **Результат:** разработана модель канала передачи дискретной информации, рассмотрены вопросы эффективного обслуживания асинхронного трафика в сетях пакетной связи, разработаны методы восстановления тактовой частоты источника в каналах с асинхронной передачей пакетов данных. **Практическая значимость:** разработанные методы и алгоритмы позволяют более эффективно использовать ресурсы сетей пакетной связи в системах телекоммуникаций, позволят реализовать дополнительные возможности по передаче разнотипной информации, позволят повысить качество связи и минимизировать потери сетевых пакетов.

Ключевые слова: процесс синхронизации, пакетная связь, асинхронный поток данных, дискретная информация, каналы со случайным множественным доступом.

Введение

Формирование синхронизации дискретной информации по принимаемым пакетам данных является актуальной проблемой. Такая задача возникает при соединении источников информации через канал с пакетной передачей данных,

Библиографическая ссылка на статью:

Бейлекчи Д. В., Белов А. А., Ермолаев В. А., Кропотов Ю. А. Передача синхронных потоков данных по асинхронным сетям пакетной связи со случайным множественным доступом // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 1-15. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/01-Beilegchi.pdf>

Reference for citation:

Beilegchi D. V., Belov A. A., Ermolaev V. A., Kropotov Y. A. Transmission of Synchronous Data Streams for an Asynchronous Packet Communication Networks with the Random Multiple Access. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 1-15. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/01-Beilegchi.pdf>

скорость передачи которых не известна. К подобным каналам относятся каналы, ориентированные на асинхронный способ передачи информации, а также каналы со случайным множественным доступом.

Являясь по своей природе асинхронными, сети пакетной связи (Frame Relay, АТМ, IP) характеризуются в первую очередь высокой эффективностью передачи коротких сообщений. В отличие от сетей с коммутацией каналов, ресурсы которых предоставляются на все время соединения, ресурсы сетей пакетной связи отводятся только под передаваемую информацию, притом, что наибольший эффект достигается при отсутствии существенных требований к времени ее доставки. Однако тенденция к построению сетей с интеграцией служб обусловила потребность в реализации дополнительных возможностей по передаче разнотипной информации. В сетях АТМ по этой причине предусмотрены каналы с постоянной битовой скоростью, каналы с переменной битовой скоростью (в вариантах реального и не реального времени), каналы с доступной и с негарантированной битовой скоростью [1]. Аналогичные, повышающие качество обслуживания, возможности реализуются и в сетях IP.

Сеть связи – это множество узлов (коммутаторов, маршрутизаторов и разветвителей), соединенных между собой групповыми каналами передачи данных. Чтобы исключить проскальзывание битов и потерю блоков или пакетов данных, передача информации по каналам сети должна осуществляться согласованными во времени способами. Для этого, например, генераторы всех узлов синхронизируются по частоте одного, соответствующим образом выбираемого, задающего генератора. При отсутствии такой синхронизации каждый узел сети оснащается своим высокоточным генератором, обеспечивающим допустимую величину проскальзывания или потерь элементов передаваемых данных. Качество связи, зависящее от названных потерь, зависит не только от способа синхронизации сети, но и от целого ряда других факторов [1], от амплитудных и фазовых искажений в каналах, от флюктуаций фазы сигналов, от кодовых ошибок и ошибок синхронизации, от переполнения буферов, от интенсивности заявок и протоколов управления передачей. Фрактальный характер процессов в сетях связи, находящийся, в частности, выражение в длинных хвостах вероятностных распределений числа заявок, также влияет на качество передачи и ограничивает возможности традиционных, основанных на теории массового обслуживания [2].

Также актуальными являются вопросы подключения абонентских приборов к ISDN-подобной цифровой станции через каналы со случайным множественным доступом, так как разработка процесса формирования тактового сигнала станции из тактового сигнала канала пакетной связи со случайным множественным доступом требует дальнейшего рассмотрения, а реализация отдельных каналов синхронизации нерациональна. Поэтому в работе рассматривается проблема формирования структуры организации тактовой синхронизации по поступающим пакетам данных [3, 4].

Модель канала передачи дискретной информации

В соответствии с моделью канала передачи дискретной информации, приведенной на рис. 1, информация $u(t)$, создаваемая источником, накапливается в интеграторе и по достижении порога срабатывания компаратора сбрасывается импульсным элементом в канал в форме последовательности пакетов. Период следования пакетов определяется периодом дискретизации накопленной информации импульсным элементом. В общем случае размер пакетов может зависеть от количества накопленной информации. Однако без ограничения общности размер пакета принимается фиксированным, что соответствует форме амплитудной характеристики компаратора, согласно модели канала, приведенного на рис. 1.

Пакеты данных источника поступают в буфер Σ получателя с задержкой τ , которая является случайной величиной [5, 6, 7]. Информация из указанного буфера направляется далее получателю со скоростью $v(t)$. При этом задача синхронизации заключается в обеспечении условий выполнения равенства $v(t) = u(t - \tau_0)$, где τ_0 – фиксированная величина.

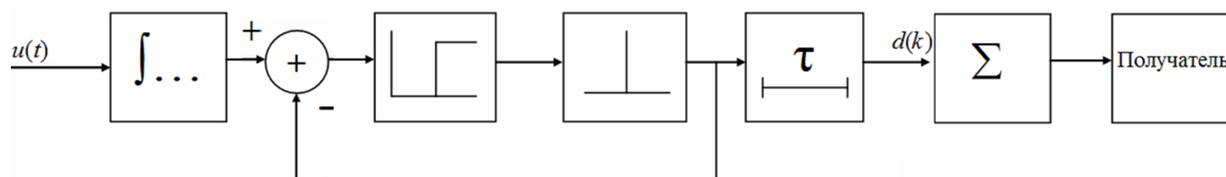


Рис. 1. Структурная схема модели канала формирования пакетов данных

Из рис. 1 видно, что буфер источника представлен интегратором, на выходе которого вычисляется разность между количеством информации, накопленной в интеграторе в единицу времени накопления данных импульсным элементом, и количеством информации, сбрасываемой в канал в форме пакетов. При этом для исключения возможности переполнения буфера источника, количество информации D в пакете данных должно быть больше

количества информации $W = \int_0^{\bar{T}} u(\vartheta) d\vartheta$, создаваемой источником за время, равное среднему периоду дискретизации \bar{T} накопленных данных импульсным элементом. Таким образом, должно выполняться условие $D > W$.

Если скорость в канале пакетной передачи данных значительно превосходит скорость в канале источника информации, то выходной сигнал импульсного элемента в точках дискретизации t_k представляет собой последовательность выборок функции в виде

$$\xi(t) = \frac{1}{2}(1 + \text{sgn}(x(t) - D)) \times D \times \delta(t - t_k), \quad (1)$$

где функция $x(t)$ в точках t_k , в которых она может иметь разрывы, принимается непрерывной слева, $\text{sgn } a = 1$, при $a \geq 0$ или $\text{sgn } a = -1$, при $a < 0$.

В соответствии с (1) динамика изменения количества информации x , накопленной в буфере источника на отрезке $[t_{k-1}, t_k]$ удовлетворяет разностному уравнению

$$\dot{x}_k(t) = u(t), \quad x_k(t_k) = x_{k-1}(t_{k-1}) - \xi(t_{k-1}). \quad (2)$$

В интегральной форме уравнение (2) принимает вид

$$x_k(t) = x_{k-1}(t_{k-1}) + \int_{t_{k-1}}^{t_k} u(\vartheta) d\vartheta - \xi(t_{k-1}). \quad (3)$$

Если ввести обозначения

$$W_k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} u(\vartheta) d\vartheta, \quad x_k = x_k(t_k), \quad u \quad \xi_k = \xi(t_k),$$

то из (3) следует разностное уравнение для величины x_k , определяющее заполнение буфера источника в моменты t_k , в виде

$$x_k = x_{k-1} + W_k - \xi_{k-1}. \quad (4)$$

Существенно упрощается решение уравнения (4) при выполнении условий $W_k = W = \text{const}$:

$$x_k = x_0 + kW - D \left[\frac{x_0 + (k-1)W}{D} \right], \quad (5)$$

где $[b]$ – целая часть действительного числа b .

Траектории динамической системы, описываемой уравнением (4), при $D=48$ и фиксированных значениях $W_k = (0,2+\pi/50) \cdot 48$ и $W_k = (0,8+\pi/50) \cdot 48$ приведены соответственно на рис. 2 и рис. 3.

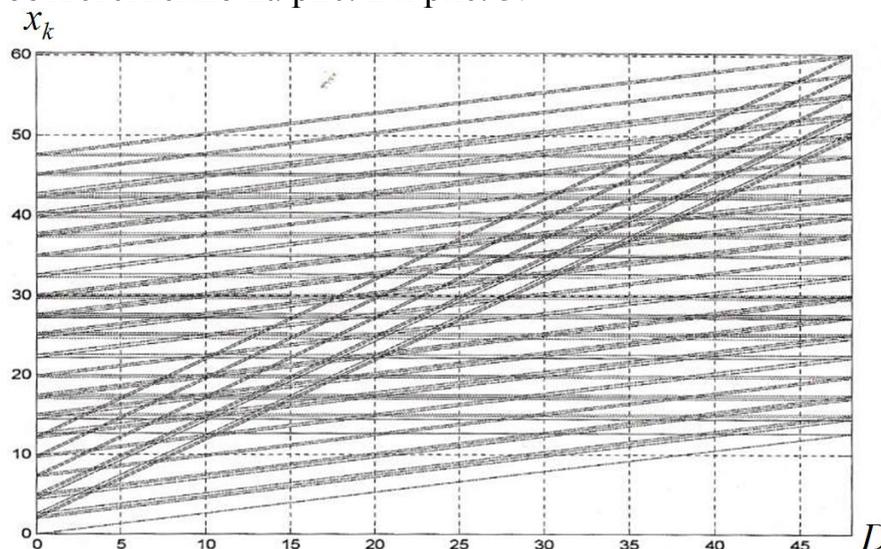


Рис. 2. Динамика заполнения буфера источника, $W_k = (0,2+\pi/50) \cdot 48$

Правой границе, изображенных фазовых портретов на рис. 2 и рис. 3, соответствует заполнение буфера в момент, непосредственно предшествующий точке дискретизации импульсным элементом выходного сигнала компаратора, а левой границе соответствует заполнение буфера после дискретизации со сбросом пакета данных, если заполнение буфера в момент дискретизации

превышает объем заключенных в пакете данных. Движению по кривой фазового портрета в направлении от левой границы вправо соответствует плавное изменение заполнения буфера, обусловленное накоплением данных источника. Движению же в обратном направлении под углом к горизонтали соответствуют скачкообразные изменения, обусловленные сбросами пакетов данных.

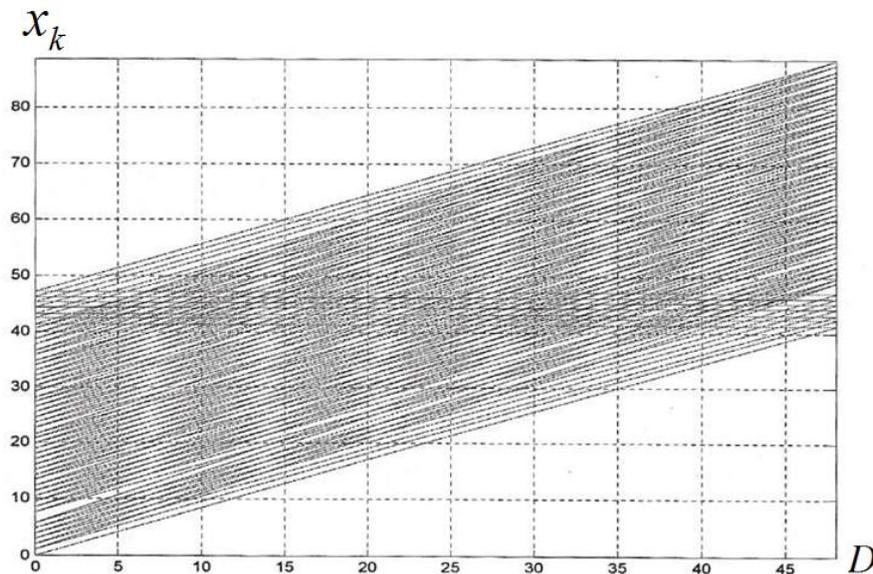


Рис. 3. Динамика заполнения буфера источника, $W_k = (0,8 + \pi/50) \cdot 48$

Из рисунков следует, что требуемая емкость буфера уменьшается с увеличением частоты дискретизации выходного сигнала компаратора и не превышает величины, равной удвоенному количеству информации. Однако анализ модели динамики заполнения буфера показывает, что для обеспечения надежности выводов, в модели следует учитывать неравномерный характер дискретизации накопленных данных, а также следует учитывать изменяющуюся, в общем случае случайным образом, задержку в доставке пакетов данных получателю. Характеристики неравномерности дискретизации и задержки доставки определяются особенностями протоколов сети пакетной связи, скоростью передачи в ее каналах, характером доступа к сети, загрузкой сети и распределением пакетов по длине и приоритетам. В этом случае, рост скорости передачи в каналах и уменьшение загрузки сети уменьшает неравномерность дискретизации и изменение задержки при соответствующих протоколах, что обуславливает возможность повышения качества связи в целом.

Обслуживание синхронного трафика в сетях пакетной связи

Групповые каналы передачи данных, соединяющие соответствующие пары узлов сети пакетной связи, могут в общем случае содержать информацию источников, функционирующих в различных режимах, в частности, синхронном и асинхронном режимах (в реальном и виртуальном времени). Естественно во всех режимах названная информация в групповые каналы поступает в пакетной форме. Данные источников, функционирующих в

синхронном режиме, упаковываются при этом в пакеты с расчетом на их передачу по групповому каналу сети. Схема образования группового канала показана на рис. 4. Количества активных, синхронных и асинхронных, стыков абонентского доступа, являющиеся функциями времени, обозначены, как $n_S(t)$ и $n_A(t)$, а общее число стыков – как $n(t) = n_S(t) + n_A(t)$.

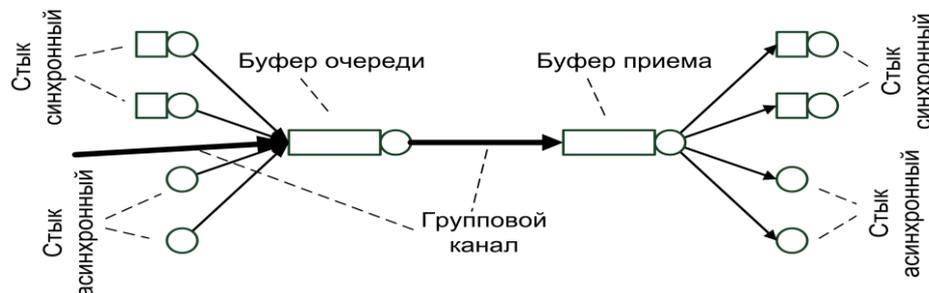


Рис. 4. Групповой канал в сети пакетной связи

Без ограничения общности длину пакета в групповом канале в битах можно принять равной фиксированной величине d_P , а количество содержащейся в нем информации – d_I . При этом если скорость передачи в групповом канале равняется v_P , то время обслуживания одного пакета определяется выражением $t_P = d_P / v_P$, а эффективная скорость передачи информации, содержащейся в пакете – выражением $v_I = d_I / t_P$.

Аналогично, время передачи данных одного пакета в синхронном k -м канале абонентского доступа $t_{S,k} = d_I / v_{S,k}$, где $v_{S,k}$ – скорость передачи в канале. Можно показать, что если время $t_{S,k}$ не кратно времени обслуживания t_P , то поток пакетов в сети является (при иррациональной величине отношения $t_{S,k} / t_P$) почти периодическим, а в общем случае – случайным. Параметры потока также зависят от состава абонентских стыков и величины трафика сети в целом, а также от правил их обслуживания.

Так, в то время как поток пакетов с данными синхронных каналов может иметь достаточно регулярный характер, поток пакетов, поступающих по асинхронным стыкам, естественно считать случайным. Формирование пакетов синхронных каналов осуществляется, как это показано на рис. 4, в буферах абонентских стыков. После каждого заполнения буфера стыка пакет поступает в буфер очереди соответствующего узла сети.

Моменты поступления пакетов в буфер очереди τ_l образуют точечный или случайный поток (процесс) [8]. Параметры этого потока оказывают существенное влияние на важнейший параметр состояния сети – объем заполнения буферов очередей ее узлов. Динамику изменения этого параметра принято изображать временными диаграммами, подобными приведенной на рис. 5 диаграмме, описывающей функционирование одного узла сети – см. рис. 4, (или обслуживающего прибора). Это типичный способ, применяемый в теории массового обслуживания [9].

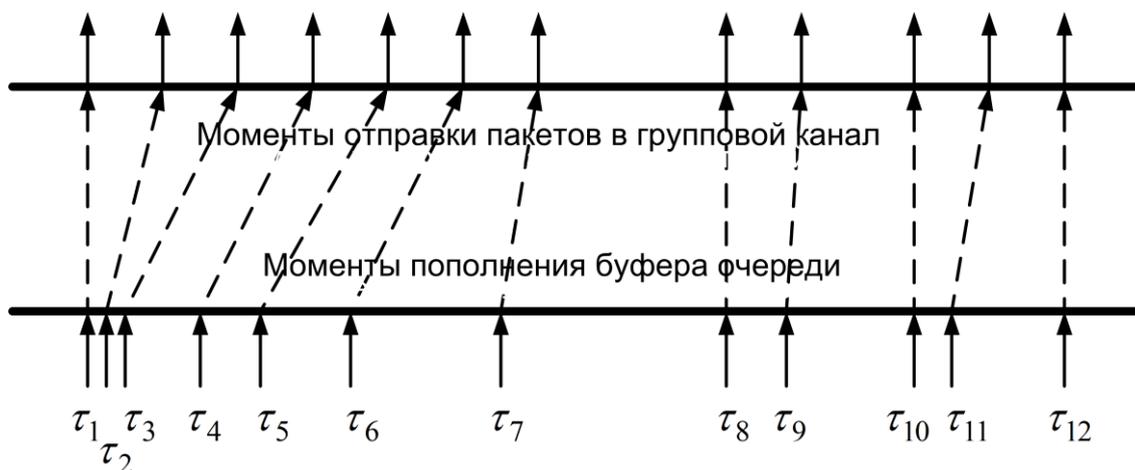


Рис. 5. Временная диаграмма обслуживания заявок

На рис. 5 показан почти периодический порядок поступления заявок по синхронному и асинхронному стыкам, суммарный поток заявок и порядок обслуживания «первым вошел – первым вышел» (FIFO). Указанный порядок обслуживания, как это видно из рисунка, характеризуется нерегулярной доставкой пакетов данных не только абонентам асинхронного, но и синхронного стыка, что приводит в последнем случае к усложнению проблемы синхронизации. Эта проблема отчасти снимается посредством закрепления за пакетами данных синхронных каналов заранее определенных позиций, что усложняет процедуру управления обслуживанием.

Динамику заполнения буферов удобно представить функцией незавершенного обслуживания [9]. Такая функция может быть построена в соответствии с временной диаграммой обслуживания заявок – рис. 5. Моментам τ_l поступления пакетов соответствует скачкообразное увеличение заполнения буфера очереди на величину кратную размеру пакета d_p . В интервалах между моментами поступления пакетов заполнение буфера уменьшается со скоростью передачи данных в групповом канале v_p . При этом каждый пакет в канале передается в течение времени t_p .

Отличительной чертой систем массового обслуживания, подобных системе пакетной связи (рис. 4), является характер входного воздействия, представляющего собой случайный поток импульсов, которые при длительности $\tau \rightarrow 0$ можно рассматривать как последовательность δ -импульсов. В простейшем случае это может быть пуассоновский поток, в котором случайная длина θ интервала между импульсами τ_{l-1} и τ_l , $l=1, 2, 3, \dots$, описывается функцией плотности вероятностей [10]

$$f(\theta, l) = \lambda(\tau_{l-1} + \theta)e^{-\Lambda(\tau_{l-1} + \theta, \tau_{l-1})}, \quad \Lambda(t, a) = \int_a^{a+t} \lambda(\tau) d\tau. \quad (6)$$

Здесь $\lambda(t)$ – интенсивность потока (параметр распределения). В случае однородного потока, когда $\Lambda(t) = \lambda t$, плотность распределения длины интервала между импульсами $f(\theta) = \lambda e^{-\lambda\theta}$.

Функция незавершенного обслуживания, отображающая динамику буфера очереди группового канала, находится по известной последовательности моментов поступления заявок τ_l , а именно, описывается выражениями:

$$x_l(\rho) = \max \{0, x_{l-1}(\theta_{l-1}) + n_l d_P - v_P \rho\}, \quad l = 1, 2, 3, \dots,$$

$$x_l(\theta_l) = \max \{0, x_{l-1}(\theta_{l-1}) + n_l d_P - v_P \theta_l\}, \quad \theta_l = \tau_l - \tau_{l-1}, \quad \rho \in [0, \theta_l]. \quad (7)$$

Здесь $x_0(\theta_0)$ – величина начального заполнения буфера и n_l – число поступающих в момент τ_l заявок. Схема модели, соответствующая уравнениям (7), изображена на рис. 6.

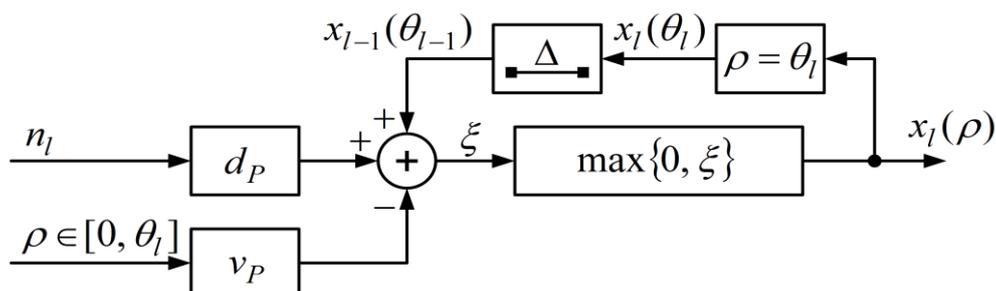


Рис. 6. Формирователь функции незавершенного обслуживания

Как следует из вышесказанного, оценивание динамики буферов сети, представленной функциями незавершенного обслуживания, требует еще адекватного задания суммарной нагрузки и моментов τ_l поступления заявок. Суммарная нагрузка должна быть согласована с пропускной способностью каналов, а неравномерность поступления пакетов – с размерами буферов. Динамика заполнения буфера группового канала, описываемая уравнениями (7), имеет место только при бесконечном размере буфера (при отсутствии его переполнения). При конечном размере D_P буфера динамику заполнения можно представить уравнениями

$$x_l(\rho) = \max \{0, \min \{D_P, x_{l-1}(\theta_{l-1}) + n_l d_P\} - v_P \rho\}, \quad l = 1, 2, 3, \dots,$$

$$x_l(\theta_l) = \max \{0, \min \{D_P, x_{l-1}(\theta_{l-1}) + n_l d_P\} - v_P \theta_l\}, \quad \theta_l = \tau_l - \tau_{l-1}, \quad \rho \in [0, \theta_l]. \quad (8)$$

Потери данных, обусловленные переполнением буфера, описываются в этом случае выражением

$$\Delta_l = \max \{0, x_{l-1}(\theta_{l-1}) + n_l d_P - D_P\}. \quad (9)$$

Модель системы, описывающая в соответствии с (8) и (9) динамику заполнения буфера конечного размера и обусловленные этим потери данных, является очевидным обобщением схемы, приведенной на рис. 6.

Восстановление тактовой частоты источника

Одно из решений задачи восстановления тактовой частоты источника дискретной информации по поступающим пакетам данных может быть основано на схеме фазовой автоподстройки частоты, приведенной на рис. 7.

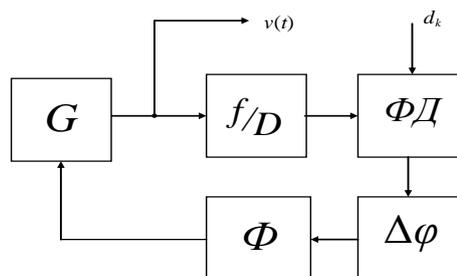


Рис. 7. Схема фазовой автоподстройки частоты

G – генератор тактовой частоты, f/D – делитель частоты, вычисление функции оценивания среднего периода следования пакетов данных, ФД – фазовый детектор, $\Delta\varphi$ – формирование сигнала отклонения фазы, Ф – линейный фильтр с конечной импульсной характеристикой, формирователь сигнала управления тактовой частотой.

В этом случае доступной информацией, которую можно использовать при восстановлении тактовой частоты источника дискретных сигналов, являются моменты \tilde{t}_k регистрации поступающих из канала пакетов данных и величина $\tilde{x}(t)$ заполнения буфера получателя.

Изображенный на рис. 7 делитель частоты выполняет функцию оценивания среднего периода $\bar{\theta}(t)$ поступления пакетов данных. Обозначив моменты появления импульсов на выходе этого делителя как \hat{t}_k , уравнение фазовой автоподстройки можно записать в виде:

$$v_k = v_{k-1} - \varepsilon(\tilde{t}_k - \hat{t}_k). \quad (10)$$

При использовании в контуре обратной связи делителя линейного фильтра с конечной импульсной характеристикой [12] уравнение автоподстройки принимает вид:

$$v_k = v_{k-1} - \varepsilon \sum_{k-N}^{k+M} a_n(\tilde{t}_n - \hat{t}_n), \quad (11)$$

которое можно рассматривать как уравнение регулирования с усреднением.

Для учета в приведенных уравнениях автоподстройки частоты неравномерности формирования последовательности пакетов данных источника допускается применение методов адаптивного регулирования с эталонной моделью [13], в качестве которой возможно использование рассмотренной выше модели формирования пакетов данных источника. В этом случае вместо делителя частоты, приведенного на рис. 7, используется нелинейный формирователь отсчетов.

К дополнительной характеристике качества регулирования, которую можно использовать при коррекции периода, относится отклонение заполнения буфера получателя $\tilde{x}(t)$ от заполнения буфера модели $\bar{x}(t)$.

Выводы

Практическое применение рассмотренных вопросов синхронизации трафика в сетях пакетной связи и развитие вопроса формирования уравнения

автоподстройки частоты методами адаптивного регулирования возможно при исследовании характеристик и протоколов используемых каналов пакетной связи в рамках представленной модели. Также к рассматриваемой теме относятся и вопросы, развиваемые в теории систем со случайным периодом квантования [4] и с переменным запаздыванием [5], в соответствии с которыми применение методов стохастических систем требует получения информации о вероятностных характеристиках наблюдаемых процессов [4, 7, 11, 14].

Литература

1. Беллами Дж. Цифровая телефония. – М.: Эко-Трендз, 2004. – 640 с.
2. Шелухин О. И., Тенякшев А. М., Осин А. В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.
3. Колтунов М. Н., Рыжков А. В. Сетевая синхронизация: взгляд в будущее // Электросвязь. 2005. № 9. С. 36-38.
4. Казаков И. Е., Артемьев В. М., Бухалев В. А. Анализ систем случайной структуры. – М.: Физматлит, 1993. – 272 с.
5. Солодов А. В., Солодова Е. А. Системы с переменным запаздыванием. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
6. Кропотов Ю. А. Временной интервал определения закона распределения вероятности амплитуд речевого сигнала // Радиотехника. 2006. № 6. С. 97-98.
7. Ермолаев В. А., Кропотов Ю. А. О корреляционном оценивании параметров моделей акустических эхо-сигналов // Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т. 1. № 1. С. 46-50.
8. Большаков И. А., Ракошиц В. С. Прикладная теория случайных потоков. – М.: Советское радио, 1978. – 248 с.
9. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. – 432с.
10. Солодов А. В., Солодов А. А. Статистическая динамика систем с точечными процессами. – М.: Наука, 1988. – 256 с.
11. Быков А. А., Кропотов Ю. А. Аппроксимация закона распределения вероятности отсчетов сигналов акустических помех // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2011. № 2. С. 61-66.
12. Ермолаев В. А., Карасев О. Е., Кропотов Ю. А. Метод интерполяционной фильтрации в задачах обработки речевых сигналов во временной области // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2008. № 7. С. 12-17.
13. Ермолаев В. А., Еременко В. Т., Карасев О. Е., Кропотов Ю. А. Идентификация моделей дискретных линейных систем с переменными, медленно изменяющимися параметрами // Радиотехника и электроника. 2010. Т. 55. № 1. С. 57-62.
14. Кропотов Ю. А. Алгоритм определения параметров экспоненциальной аппроксимации закона распределения вероятности амплитуд речевого сигнала // Радиотехника. 2007. № 6. С. 44-47.

15. Kropotov Y. A., Ermolaev V. A. Algoritmy obrabotki akusticheskikh signalov v telekommunikacionnyh sistemah metodami lokal'nogo parametriceskogo analiza [Algorithms for processing acoustic signals in telecommunication systems by local parametric methods of analysis]. *Trudy mezhdunarodnoj sibirskoj konferencii po upravleniju i svyazi SIBCON-2015* [Proceedings International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015)]. Omsk: Omsk State Technical University. Russia, 2015, pp. 345-348.

16. Ermolaev V. A., Kropotov Y. A. Issledovanie parametrov modelej akusticheskikh jeho-signalov s pomoshh'ju metoda ocenki korrelyacii [Investigation of parameters of models of acoustic ECHO-signals by method of correlation estimation]. *Trudy 20 mezhdunarodnoj krymskoj konferencii "SVCh-tehnika i telekommunikacionnye tehnologii"* [Proceedings of 20 th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"]. Sevastopol, 2010, vol. 1, pp. 422-423.

17. Kropotov Y. A. Upravlenie podavleniem pomeh kanalov v mnogokanal'nyh sistemah peredachi akusticheskikh signalov [Management of the channel suppression hindrances in multichannel systems of transfer acoustic signals]. *Trudy pervoj rossijskoj i tihookeanskoj konferencii "Komp'juternye tehnologii i prilozhenija (RPC 2010)"* [Proceedings of First Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC 2010)]. Vladivostok: IACP FEB RAS, 2010, pp. 399-400.

18. Кропотов Ю. А. Статистические параметры сигналов при проектировании оперативно-командных телекоммуникационных систем // В мире научных открытий. 2010. № 6-1. С. 39-44.

19. Кропотов Ю. А., Быков А. А. Алгоритм подавления акустических шумов и сосредоточенных помех с формантным распределением полос режекции// Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т. 1. № 1. С. 60-65.

20. Быков А. А., Кропотов Ю. А. Модель закона распределения вероятности амплитуд сигналов в базисе экспоненциальных функций системы // Проектирование и технология электронных средств. 2007. № 2. С. 30-34.

21. Белов А. А., Кропотов Ю. А. Исследование вопросов сжатия и поиска картографической информации методом вейвлет-преобразований в экологической геоинформационной системе // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2008. № 12. С. 9-14.

22. Кропотов Ю. А., Белов А. А. Исследование статистических характеристик оцифрованных сигналов систем телекоммуникаций аудиообмена // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 150-157.

References

1. Bellamy J. *Cifrovaja telefonija* [Digital telephony]. Moscow, Eco-Trendz, 2004. 640 p. (in Russian).

2. Shelukhin O. I., Tenyakshev A. M., Osin A. V. *Fraktal'nye processy v telekommunikacijah* [Fractal processes in telecommunications]. Moscow, Radiotekhnika, 2003. 480 p. (in Russian).
3. Koltunov M. N., Ryzhkov A. V. Setevaja sinhronizacija: vzgljad v budushhee [Network synchronization: a look into the future]. *Electrosvyaz*, 2005, no. 9, pp. 36-38 (in Russian).
4. Kazakov I. E., Artemyev V. A., Bukhalov V. A. *Analiz sistem sluchajnoj struktury* [Analysis of a random structure systems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 1993. 272 p. (in Russian).
5. Solodov A. V., Solodova E. A. *Sistemy s peremennym zapazdyvaniem* [System with variable delay]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 384 p. (in Russian).
6. Kropotov Y. A. Vremennoj interval opredelenija zakona raspredelenija verojatnosti amplitud rechevogo signala [The time interval determining the distribution law of probability amplitudes of speech]. *Radiotekhnika*, 2006, no. 6, pp. 97-98 (in Russian).
7. Ermolaev V. A., Kropotov Y. A. O korreljacionnom ocenivanii parametrov modelej akusticheskikh jecho-signalov [About correlation estimation of the parameters of acoustic echo models]. *Voprosy radioelektroniki*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 46-50 (in Russian).
8. Bolshakov I. A., Rakoshits V. S. *Prikladnaja teorija sluchajnyh potokov* [Applied theory of random streams]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1978. 248 p. (in Russian).
9. Kleinrock L. *Teorija massovogo obsluzhivanija* [Queueing theory]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979. 432 p. (in Russian).
10. Solodov A. V., Solodov A. A. *Statisticheskaja dinamika sistem s tochechnymi processami* [Statistical dynamics of systems with point processes]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 256 p. (in Russian).
11. Bykov A. A., Kropotov Y. A. Approksimacija zakona raspredelenija verojatnosti otschetov signalov akusticheskikh pomeh [Approximation of law probability distribution of acoustic noise signal samples]. *Radio and telecommunication systems*, 2011, no. 2, pp. 61-66 (in Russian).
12. Ermolaev V. A., Karasev O. E., Kropotov Y. A. Metod interpoljacionnoj fil'tracii v zadachah obrabotki rechevyh signalov vo vremennoj oblasti [Interpolation filtering method in problems of speech signal processing in the time domain]. *Vestnik komp'juternykh i informatsionnykh tekhnologii*, 2008, no. 7, pp. 12-17 (in Russian).
13. Ermolaev V. A., Eremenko V. T., Karasev O. E., Kropotov Y. A. Identifikacija modelej diskretnyh linejnyh sistem s peremennymi, medlenno izmenjajushhimisja parametrami [Identification of models for discrete linear systems with variable, slowly varying parameters]. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2010, vol. 55, no. 1, pp. 57-62 (in Russian).
14. Kropotov Y. A. Algoritm opredelenija parametrov jeksponencial'noj approksimacii zakona raspredelenija verojatnosti amplitud rechevogo signala [The algorithm for determining the parameters of the exponential approximation law of the probability distribution of the amplitude of the speech signal]. *Radiotekhnika*, 2007, no. 6, pp. 44-47 (in Russian).

15. Kropotov Y. A., Ermolaev V. A. Algoritmy obrabotki akusticheskikh signalov v telekommunikacionnyh sistemah metodami lokal'nogo parametriceskogo analiza [Algorithms for processing acoustic signals in telecommunication systems by local parametric methods of analysis]. *Trudy mezhdunarodnoj sibirskoj konferencii po upravleniju i svjazi SIBCON-2015* [Proceedings International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015)]. Omsk, Omsk State Technical University, 2015, pp. 345-348.

16. Ermolaev V. A., Kropotov Y. A. Issledovanie parametrov modelej akusticheskikh jeho-signalov s pomoshh'ju metoda ocenki korrelyacii [Investigation of parameters of models of acoustic ECHO-signals by method of correlation estimation]. *Trudy 20 mezhdunarodnoj krymskoj konferencii "SVCh-tehnika i telekommunikacionnye tehnologii"* [Proceedings of 20th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"]. Sevastopol, 2010, vol. 1, pp. 422-423.

17. Kropotov Y. A. Upravlenie podavleniem pomeh kanalov v mnogokanal'nyh sistemah peredachi akusticheskikh signalov [Management of the channel suppression hindrances in multichannel systems of transfer acoustic signals]. *Trudy pervoj rossijskoj i tihookeanskoj konferencii "Komp'juternye tehnologii i prilozhenija (RPC 2010)"* [Proceedings of First Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC 2010)]. Vladivostok, 2010, pp. 399-400.

18. Kropotov Y. A. Statisticheskie parametry signalov pri proektirovanii operativno-komandnyh telekommunikacionnyh sistem [Statistical parameters of signals in the design of operational command of telecommunication systems]. *In the World of Scientific Discoveries*, 2010, no. 6-1, pp. 39-44 (in Russian).

19. Kropotov Y. A., Bykov A. A. Algoritm podavlenija akusticheskikh shumov i sosredotochennyh pomeh s formantnym raspredeleniem polos rezhekicii [Algorithm acoustic noise suppression and interference with concentrated formant distribution rejection bands]. *Questions of radio-electronics*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 60-65 (in Russian).

20. Bykov A. A., Kropotov Y. A. Model' zakona raspredelenija verojatnosti amplitud signalov v bazise jeksponencial'nyh funkcij sistemy [Model law probability distribution of the signal amplitudes in the basis of the system of exponential functions]. *Design and technology of electronic means*, 2007, no. 2, pp. 30-34 (in Russian).

21. Belov A. A., Kropotov Y. A. Issledovanie voprosov szhatija i poiska kartograficheskoj informacii metodom vejvlet-preobrazovanij v jekologicheskoj geoinformacionnoj sisteme [Study on the compression and map information search method wavelet transforms environmental geographic information system]. *Vestnik komp'juternykh i informacionnykh tekhnologii*, 2008, no. 12, pp. 9-14 (in Russian).

22. Kropotov Y. A., Belov A. A. Research of the statistical characteristics of digitized signals in telecommunications audio exchange systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 4, pp. 150-157 (in Russian).

Статья поступила 10 января 2017 г.

Информация об авторах

Бейлекчи Дмитрий Владимирович – старший преподаватель кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». Область научных интересов: микропроцессорные системы, системы телекоммуникаций, системы оперативно-командной связи. Тел.: +7(49234)772-72. E-mail: dmibei@yandex.ru

Белов Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». Область научных интересов: телекоммуникационные системы мониторинга, обработка данных, методы вейвлет-преобразования. Тел.: +7(49234)772-72. E-mail: aleks.murom@mail.ru

Ермолаев Валерий Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». Область научных интересов: обработка информации в телекоммуникационных системах. Тел.: +7(49234)772-72. E-mail: valeermolaev@yandex.ru

Кропотов Юрий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». Область научных интересов: телекоммуникационные и информационно-управляющие системы. Тел.: +7(49234)772-72. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Адрес: Россия, 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

Transmission of Synchronous Data Streams for an Asynchronous Packet Communication Networks with the Random Multiple Access

D. V. Beilegchi, A. A. Belov, V. A. Ermolaev, Y. A. Kropotov

Statement of the problem: the problem of synchronization of digital information in data packets received in the packet network connection and a random multiple access to the transmission medium is important. This problem arises in the interaction of sources and receivers of information and data through packet transmission channels, in which the transmission rate is not known in advance. In these channels provides an asynchronous method of transmitting information. Therefore, in telecommunication systems is a problem of the development of new methods of exchanging information and creating an effective organizational structure clocked by incoming data packets. **Object of research** are the transmission channels of digital information-oriented asynchronous method of transmitting information, as well as channels with a random multiple access telecommunication systems, data exchange. **The purpose** is to develop a model of the transmission channel of digital information, consideration of a more efficient service asynchronous traffic in packet communication networks, development of methods of restoration of the clock frequency of the source channels in the asynchronous data transmission. **Used methods:** we used the apparatus of communication theory, queuing theory, the theory of incomplete maintenance of adaptive control, simulation

techniques, network technologies. **The scientific novelty** of the work lies in the consideration of the formation process of the synchronization packet communication, consideration of the recovery methods clock source asynchronous transfer of digital information, the study model of the formation of data packets in a random multiple access channels. **Results:** the model of the transmission channel of digital information, the issues of effective service of the asynchronous traffic in packet communication networks, developed methods for restoring a clock frequency of the source channels in the asynchronous transmission of data packets. **Practical value:** the developed methods and algorithms allow more efficient use of packet communication network resources in telecommunication systems, will realize additional opportunities for transfer of heterogeneous information, will improve the quality of communication and to minimize the loss of network packets.

Key words: synchronization process, packet communications, asynchronous data stream, discrete information, channels with a random multiple access.

Information about Authors

Dmitryi Vladimirovich Beilegchi – Senior Lecturer of chair «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: microprocessor-based systems, telecommunications systems, operational and command communications. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: dmibei@yandex.ru

Aleksey Anatolievich Belov – Ph.D. of Engineering Sciences, associate professor of chair «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: telecommunication system monitoring, data processing, wavelet transform techniques. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: Aleks.murom@mail.ru

Valeryi Andreevich Ermolaev – Ph.D. of Engineering Sciences, associate professor of chair «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: information processing in telecommunication systems. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: valeermolaev@yandex.ru

Yurij Anatolievich Kropotov – Dr. of Engineering Sciences, Full Professor. Head of the Department «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: telecommunication information and control systems. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Address: Russia, 602264, Murom, st. Orlovskaya, h. 23.

УДК 681.3

Меры по обеспечению безопасности и защиты информации для сложных информационных систем

Осовецкий Л. Г., Суханов А. В., Ефимов В. В.

Постановка задачи: рост числа компонент информационных систем приводит к росту их сложности и необходимому изменению требований по безопасности и классификации этих требований и мер по обеспечению безопасности в зависимости от уровня сложности информационной системы. Существующие нормативные требования по безопасности и меры по ее обеспечению включают управление доступом, регистрацию и учет, криптографическую подсистему, обеспечение целостности информации. Указанные группы требований не учитывают влияния сложности защищаемой информационной системы на ее безопасность и защищенность.

Анализ изменения поля угроз безопасности и требований к защите информации показал, что с ростом сложности информационной системы учет числа компонент информационной системы и ее сложности позволят адекватно модифицировать и детализировать необходимые нормативные требования по безопасности, а также классифицировать их в зависимости от метрической сложности информационной системы. Классификация метрической сложности информационных систем по числу компонент дополняет методический аппарат построения защиты, адекватной полю угроз системы безопасности, а также выбор мер по обеспечению безопасности, квалифицированных в зависимости от сложности информационных систем. Обосновывается и предлагается дополнение общих требований по безопасности новой группой требований, которые адекватны уровню сложности информационной системы. **Целью работы** является оценка и анализ влияния метрической сложности информационных систем на их безопасность и защищенность, а также выработка и классификация требований по безопасности к информационным системам по критерию «сложность–безопасность», формулировка классификационных требований и мер обеспечения безопасности с учетом сложности информационной системы. Это позволит обеспечить построение подсистемы безопасности и защиты информации, которая адекватна полю угроз и уровню сложности информационной системы. Предлагается применять требования и меры повышения безопасности информационных систем в соответствии с дополнительной нормативной группой требований – классификацией сложности информационных систем. **Используемые методы:** научно-методический аппарат выбора и классификации требований по безопасности информационной системы, мер и состава их реализации с учетом уровня ее сложности. **Новизна:** новизной представленного решения является использование при определении нормативных требований по безопасности информационной системы и мер по их реализации, дополнительной группы нормативных требований, учитывающей сложность защищаемой системы. **Результат:** использование представленного решения по учету влияния сложности защищаемой системы при классификации требований и мер по обеспечению безопасности позволяет снизить уровень угроз безопасности и обеспечить эффективность подсистемы защиты, а также снизить затраты на ее создание и потери от действия угроз безопасности. Моделирование расчетов уровня безопасности ряда сложных информационных систем с учетом сложности этих систем позволило обосновать необходимость усиления мер безопасности для некоторых из них. **Практическая значимость:** представленное решение предлагается использовать при выборе нормативных требований и мер по безопасности современных сложных информационных систем, аттестации по требованиям безопасности информации сложных объектов информатизации, созданию и проектировании

Библиографическая ссылка на статью:

Осовецкий Л. Г., Суханов А. В., Ефимов В. В. Меры по обеспечению безопасности и защиты информации для сложных информационных систем // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 16-25. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/02-Osovetskiy.pdf>

Reference for citation:

Osovetskiy L. G., Sukhanov A. V., Efimov V. V. Measures to Ensure Security and Data Protection for Complex Information Systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 16-25. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/02-Osovetskiy.pdf>

подсистем безопасности сложных информационных систем, оптимизации средств отражения воздействия угроз безопасности.

Ключевые слова: информационная система, безопасность, защита информации, угрозы безопасности, меры защиты, нормативные требования.

Введение

Эффективность информационной системы (ИС) в значительной степени зависит от уровня ее безопасности. Опыт эксплуатации ИС показывает, что уровень безопасности и защищенности таких систем не всегда отвечает современным требованиям, поэтому весьма актуальна проблема разработки методов, позволяющих обеспечить необходимые уровни характеристик защищенности и безопасности ИС.

Российские и зарубежные нормативные документы [1, 2, 4, 5, 6, 7] определяют требования по защищенности и безопасности без учета роста сложности ИС, что зачастую приводит по формальным причинам к ошибкам в реализации и проектировании систем защиты и безопасности ИС. К сложным ИС и автоматизированным системам (АС) предъявляются и реализуется тот же уровень требований, что и для простых систем, что приводит к превышению необходимых требований для простых ИС и АС, а также их недостаточности для сложных современных систем [3]. С ростом уровня сложности ИС назрела естественная необходимость классификации требований по безопасности ИС по уровню их сложности.

В основу классификации требований к безопасности с учетом сложности ИС положена существующая классификация АС и ИС по безопасности и защищенности в соответствии с РД ФСТЭК России.

В общем случае, комплекс требований и мер решений по защите информации от несанкционированного доступа (НСД) реализуется в рамках системы защиты информации (СЗИ) от НСД, состоящей из следующих четырех групп требований:

- управления доступом;
- регистрации и учета;
- криптографической защиты;
- обеспечения целостности.

При этом требования по защищенности в первой группе усиливаются от класса 1Д к 1А.

Расчеты, представленные в работе [8], показывают, что при существующем сегодня уровне воздействия угроз безопасности существует оценка по уровню математического ожидания наработки на отказ комплекса сложных ИС и АС в зависимости от их сложности.

Такая градация приведена в таблице 1.

Таким образом, для компенсации роста отказов по причине роста сложности ИС, необходимо изменение требований по безопасности к АС и ИС в сторону их увеличения (таблица 2).

Таблица 1 – Классификация ИС и АС по уровню математического ожидания наработки на отказ и в зависимости от их сложности

Сложность ИС и АС (в количестве рабочих мест)	Математическое ожидание отказа при действии угроз в часах
1	199
10	149
100	20
1000	7

Таблица 2 – Оценка необходимого повышения требуемого класса защищенности ИС с ростом уровня ее сложности

Сложность ИС и АС (в количестве рабочих мест)	Повышение требуемого класса защищенности ИС
1	нет
10	+1
100	+2
1000 и более	+3 и более

К сожалению, данные по вероятности атак на отдельные рабочие места очень разрозненны, а иногда не сходятся или противоречат друг другу. Поэтому, для демонстрации расчетов оценок, воспользуемся примером на базе данных, приведенных на рис. 1.

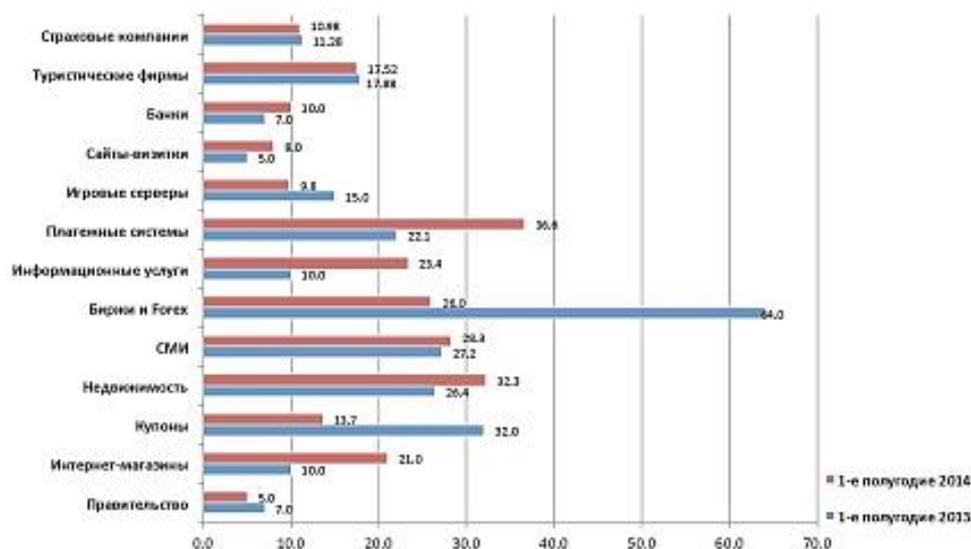


Рис. 1. Пример данных по количеству атак в год на рабочие места ИС

Вероятность действия атак на отдельные рабочие места в год, согласно этим данным, колеблется для ИС различного применения назначения от 0,05 до 0,6. Для демонстрации расчетов введем допущение о том, что среднее значение вероятности атаки на рабочее место ИС равно 0,1.

Далее, примем допущение, что атаки на отдельные рабочие места ИС независимы, тогда по соотношению (1) для вероятности независимых событий можно рассчитать вероятность атак на ИС в целом.

По теореме для вероятности независимых несовместных событий

$$P\left(\sum_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i), \quad (1)$$

где: i – количество компонентов ИС; A_i – событие, состоящее в нарушении безопасности i -го компонента сложной ИС в результате атаки.

Расчеты по формуле (1) показывают, что вероятности успешных атак при увеличении сложности ИС составляют:

Для сложности ИС от 1 до 10 рабочих мест – до 0,5.

Для сложности ИС до 100 рабочих мест – 0,7.

Для сложности ИС до 1000 рабочих мест – 0,85.

Таким образом, для сложных систем ИС и АС необходимы дополнительные меры по обеспечению безопасности и защиты информации именно сложных систем.

В связи с этим, во-первых, предлагается ввести дополнительную классификацию ИС по уровню их сложности:

- класс 1 для сложности ИС выше 1000 рабочих мест;
- класс 2 для сложности ИС от 100 до 1000 рабочих мест;
- класс 3 для сложности ИС от 10 до 100 рабочих мест;
- класс 4 для сложности ИС до 10 рабочих мест.

Во-вторых, в соответствии с дополнительной классификацией требований необходимых мер по компенсации угроз безопасности современных ИС ФСТЭК России (без учета роста их сложности) предлагается ввести их классификацию по уровню сложности ИС.

Эти дополнительные требования и меры для сложных ИС дополняют перечень мер, изложенных в перечне мер и требований ФСТЭК России и ГОСТ Р.

Предлагаемые существующими нормативными документами меры реализации требований сгруппированы нами в пять категорий.

Категория 1 – традиционная категория мер защиты, в которой существо необходимых мер не зависит от уровня сложности ИС и АС. От уровня сложности систем зависят количественные параметры числа субъектов и защищаемых объектов.

Категория 2 – является основной в определении необходимых и достаточных для номенклатуры и содержания мер защиты и безопасности современных ИС и АС.

Категория 3 – включает меры, ориентированные на программные и технические платформы, к которым могут и должны предъявляться требования и использоваться меры отдельно от требований и мер защиты функционального комплекса.

Категория 4 – относится к важнейшей категории технологий проектирования и создания ИС, совершенно изолированной по составу и содержанию по своим требованиям от требований к функциональным системам.

Категория 5 – в данной статье не обсуждается.

Группы мер защиты информации для реализации требований к ИС, предусмотренные существующими документами ФСТЭК России и ГОСТ Р:

- 1) идентификация и аутентификация субъектов доступа и объектов доступа;
- 2) управление доступом субъектов доступа к объектам доступа;
- 3) ограничение программной среды;
- 4) защита машинных носителей информации;
- 5) регистрация событий безопасности;
- 6) антивирусная защита;
- 7) обнаружение вторжений;
- 8) контроль (анализ) защищенности информации;
- 9) обеспечение целостности;
- 10) обеспечение доступности;
- 11) защита среды виртуализации;
- 12) защита технических средств;
- 13) защита автоматизированной системы и ее компонентов;
- 14) обеспечение безопасной разработки программного обеспечения;
- 15) управление обновлениями программного обеспечения;
- 16) планирование мероприятий по обеспечению защиты информации;
- 17) обеспечение действий в нештатных (непредвиденных) ситуациях;
- 18) информирование и обучение персонала;
- 19) анализ угроз безопасности информации;
- 20) выявление инцидентов и реагирование на них и рисков от их реализации.

Однако, перечисленные меры не включают в себя **учет классификации мер сложности ИС.**

В рамках учета уровня сложности ИС предлагается:

- для ИС первого класса сложности должны выполняться все позиции с 1 по 20 с реконструированием и модификацией параметров мер защиты;
- для ИС второго класса сложности должны выполняться нечетные позиции перечня;
- для ИС третьего класса сложности должны выполняться выборочные позиции перечня;
- для четвертого класса сложности ИС предлагается выполнение отдельных позиций перечня.

Для решения вопроса о месте указанных мер с учетом сложности ИС они сгруппированы в категории, связанные с целевой группой требований.

Категория 1. Меры по управлению доступом, регистрацией и учетом, обеспечением целостности:

- идентификация и аутентификация субъектов доступа и объектов доступа;
- управление доступом субъектов доступа к объектам доступа;
- обеспечение целостности;
- обеспечение доступности.

Категория 2. События безопасности:

- регистрация событий безопасности;
- антивирусная защита;
- обнаружение вторжений;
- обеспечение действий в нештатных (непредвиденных) ситуациях;
- анализ угроз безопасности информации;
- выявление инцидентов и реагирование на них и рисков от их реализации.

Категория 3. Меры по защите программной и технических платформ, а также функциональных компонент ИС:

- ограничение программной среды;
- защита машинных носителей информации;
- защита среды виртуализации;
- защита технических средств;
- защита автоматизированной системы и ее компонентов;
- управление конфигурацией автоматизированной системы и системы защиты;
- управление обновлениями программного обеспечения.

Категория 4. Меры по защите проектирования и разработки ИС:

- обеспечение безопасной разработки программного обеспечения;
- управление обновлениями программного обеспечения.

Категория 5. Организационные меры:

- планирование мероприятий по обеспечению защиты информации;
- информирование и обучение персонала.

При этом, практически все приведенные группы мер защиты и обеспечения безопасности могут быть реализованы на криптографической платформе.

Заключение

Объективные тенденции роста сложности ИС и АС, рост поля угроз требуют исследований по обеспечению защищенности и безопасности сложных ИС и АС. Необходима более детальная классификация требований по обеспечению информационной безопасности в зависимости от уровня сложности ИС и АС.

Предложенная классификация мер и требований обеспечения информационной безопасности с учетом уровня метрической сложности ИС решает проблему лишь частично.

В дальнейшем необходима разработка регламента модификации требований по безопасности в соответствии с динамикой изменения текущих характеристик ИС и АС, уровня их структурной и функциональной сложности, а также характеристик поля угроз.

Для обоснования новых требований и мер безопасности необходима разработка новых методов и средств адекватного противодействия растущему полю угроз, которые на текущем этапе должны включать следующие компоненты:

- учет и использование методов учета динамики роста сложности функциональных систем;
- систему текущего мониторинга поля угроз безопасности;
- коллективную систему накопления и анализа динамики поля угроз с созданием и организацией обмена информацией между взаимодействующими функциональными системами по текущим видам и номенклатуре угроз безопасности;
- аналитическую систему прогнозирования динамики поля угроз и разработки опережающих мер защиты и безопасности.

Литература

1. РД АС – Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации. Руководящий документ. Утверждено решением председателя Государственной технической комиссии при Президенте Российской Федерации от 30 марта 1992 г. – М.: ФСТЭК России, 1992.

2. Об утверждении требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды. Руководящий документ. Утверждено приказом ФСТЭК России от 14 марта 2014 г. № 31 – М.: ФСТЭК России, 2014.

3. Липаев В. В. Экономика производства сложных программных продуктов. – М.: СИНТЕГ, 2008. – 432 с.

4. Медведовский И. Д. ISO 17799: Эволюция стандарта в период 2002 – 2005 // DailySec.ru [Электронный ресурс]. 27.12.2007. – URL: <http://daily.sec.ru/2005/12/27/I-Medvedovskiy-ISO-17799-evolutsiya-standarta-v-period-2002---2005.html> (дата обращения 25.12.2016).

5. Стандарт ISO/IEC 27006:2007. Информационные технологии. Методы обеспечения безопасности. Требования к органам аудита и сертификации систем управления информационной безопасностью. – М.: Стандартинформ, 2010. – URL: <http://files.stroyinf.ru/data2/1/4293820/4293820744.htm> (дата обращения 25.12.2016).

6. ISO/IEC FDIS 17799:2005. Information technology – Security techniques.- Code of practice for information security management. – ITTF, 2005. 129 p. – URL: <http://comsec.spb.ru/materials/is/iso17799-2005.pdf> (дата обращения 25.12.2016).

7. ISO/IEC FDIS 27001:2005. Information technology - Security techniques - Information security management systems – Requirements. ISO/IEC, 2005. 42 p. – URL: https://infosecprimer.files.wordpress.com/2013/06/iso_iec_27001.pdf (дата обращения 25.12.2016).

8. Нестерук Г. Ф., Осовецкий Л. Г., Нестерук Р. Ш. К разработке модели адаптивной защиты информации // Специальная техника. 2005. № 2. С. 52-58.

References

1. *Avtomatizirovannye sistemy. Zashchita ot nesanktsionirovannogo dostupa k informatsii. Klassifikatsiia avtomatizirovannykh sistem i trebovaniia po zashchite informatsii. Rukovodiashchii dokument* [Automated systems. Protection against unauthorized access to information. Automated systems classification and requirements for protection of information. Guidance document]. Approved by the decision of the Chairman of the State technical Commission under the President of the Russian Federation dated 30 March 1992. Moscow, FSTEC of Russian, 1992. (in Russian).
2. *Ob utverzhdenii trebovaniia k obespecheniiu zashchity informatsii v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniia proizvodstvennymi i tekhnologicheskimi protsessami na kriticheski vazhnykh ob"ektakh, potentsial'no opasnykh ob"ektakh, a takzhe ob"ektakh, predstavliaiushchikh povyshennuiu opasnost' dlia zhizni i zdorov'ia liudei i dlia okruzhaiushchei prirodnoi sredy* [On approval of requirements for ensuring information protection in automated control systems of production and technological processes at critically important objects, potentially hazardous objects and objects of increased danger to life and health of people and the natural environment]. Approved by order FSTEC of Russia from March 14, 2014 No. 31. Moscow, FSTEC of Russia, 2014. (in Russian).
3. Lipaev V. V. *Ekonomika proizvodstva slozhnykh programmnykh produktov* [Economics of production of complex software products]. Moscow, SINTEG Publ., 2008. 432 p. (in Russian).
4. Medvedovskii I. D. ISO 17799: Evoliutsiia standarta v period 2002 – 2005 [ISO 17799: the evolution of the standard in the period 2002 – 2005]. DailySec.ru, 27 December 2007. Available at: <http://daily.sec.ru/2005/12/27/I-Medvedovskiy-ISO-17799-evolutsiya-standarta-v-period-2002---2005.html> (in Russian) (accessed 25 December 2016).
5. Standard ISO/IEC 27006:2007. Information technology. Security techniques. Requirements for auditing bodies and certification of information security management systems. 2007. 44 p. Available at: http://www.pqm-online.com/assets/files/lib/std/iso_iec_27006-2007.pdf (accessed 25 December 2016).
6. ISO/IEC FDIS 17799:2005. Information technology – Security techniques.- Code of practice for information security management. ITTF, 2005. 129 p. – Available at: <http://comsec.spb.ru/materials/is/iso17799-2005.pdf> (accessed 25.12.2016).
7. ISO/IEC FDIS 27001:2005. Information technology - Security techniques - Information security management systems – Requirements. ISO/IEC, 2005. 42 p. – Available at: https://infosecprimer.files.wordpress.com/2013/06/iso_iec_27001.pdf (accessed 25.12.2016).
8. Nesteruk G. F., Osovetskiy L.G., Nesteruk R. Sh. To develop a model of adaptive information protection. Special equipment, 2005, no. 2, pp. 52-58.

Статья поступила 26 декабря 2016 г.

Сведения об авторах

Осовецкий Леонид Георгиевич – доктор технических наук, профессор, лауреат государственной премии совета министров СССР. Советник генерального директора. Ленинградское отделение Центрального научно-исследовательского института связи (ЛО ЦНИИС). Область научных интересов: информационная безопасность, безопасность программных средств. E-mail: leoned.osovetsky@gmail.com

Суханов Андрей Вячеславович – доктор технических наук. Заместитель директора по науке. ООО «Эврика». Область научных интересов: информационная безопасность. E-mail: avsuhanov@euresa.ru

Ефимов Вячеслав Викторович – кандидат технических наук, доцент. Директор института. Ленинградское отделение Центрального научно-исследовательского института связи (ЛО ЦНИИС). Область научных интересов: инновационные решения и перспективы развития транспортных сетей связи. E-mail: vve@loniis.ru

Адрес: Россия, 196128, Санкт-Петербург, ул. Варшавская, 11.

Measures to Ensure Security and Data Protection for Complex Information Systems

L. G. Osovetskiy, A. V. Sukhanov, V. V. Efimov

Problem statement: *the number of elements in information systems is increasing therefore, their complexity increases too. Requirements for information security are required to present, depending on the complexity of the information system. The existing requirements on information security and the means that it does not take into account the complexity of the information system. Requirements on information security should be categorized and modified depending on the classification of the complexity of the information system. For the complex information system, you need to consider the connections between its elements and the system effects of a security breach for the individual elements. **The aim of this paper** is to analyze how the complexity of information systems influence on their information security and protection. In addition, the aim of the paper is the classification of requirements in information security to the information systems by the criterion of "complexity–security" and formulation the methods that take into account the complexity of the information system. This will allow you to build a security subsystem and data protection, which is adequate to the threats and level of complexity of the information system. **Methods used.** The paper uses methods of system analysis for complex systems and classification methods, which are used for the analysis of information security of information systems. **Result.** Requirements for information security and means their to ensure that classified the level of complexity of the protected system presented in the paper. The paper shows that these requirements can be simplified for the simple information systems need to improve for the complex systems. The number of elements and their connections must be considered when increasing demands for the complex systems. **Novelty.** A new result is that, given the complexity of the system while the formation of the requirements to information security and means of providing it. **Practical significance.** The results of this paper can be used for the establishment of regulatory requirements for information security of complex information systems, for certification of complex information objects, for design of security systems for complex information systems.*

Keywords: *information system, security, information security, security threats and protection measures, regulatory requirements.*

Information about Authors

Leonid Georgievich Osovetskiy – Dr. habil. of Engineering Sciences, Professor, Advisor of CEO. Leningrad Branch of Central Science Research Telecommunication Institute (LO ZNIIS). Field of research: information security, security software. E-mail: leoned.osovetsky@gmail.com

Andrei Viacheslavovich Sukhanov – Dr. habil. of Engineering Sciences. Deputy Director for science. Evrika ltd. Field of research: information security. E-mail: avsuhanov@eureca.ru

Vyacheslav Viktorovich Efimov – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. CEO of Institute. Leningrad Branch of Central Science Research Telecommunication Institute (LO ZNIIS). Field of research: innovations in telecommunications. E-mail: vve@loniis.ru

Address: Russia, 196128, Saint Petersburg, Varshavskaya str., 11.

УДК 621.391

Методы оценивания моделей плотности вероятностей акустических сигналов в телекоммуникациях аудиообмена

Кропотов Ю. А.

Постановка задачи: оценивание моделей плотности вероятностей акустических сигналов в системах телекоммуникаций актуально ввиду необходимости повышения эффективности передачи данных и повышения эффективности обмена информацией в оперативно-командных системах связи. Работа посвящена исследованиям по решению задач моделирования акустических сигналов в информационно-управляющих телекоммуникационных системах аудиообмена. **Объектом исследования** являются модели функций плотности вероятностей, по которым возможно создание более эффективных алгоритмов выделения сигналов на фоне внешних акустических шумов и помех в системах телекоммуникаций обмена аудио информацией. **Целью работы** является разработка и исследование прямых и косвенных методов оценивания плотности вероятностей акустических сигналов и помех, получение и исследование ядерных и проекционных оценок плотности вероятностей, получение гистограммных оценок плотности вероятностей, исследование возможности применения метода барьерных функций для оценивания параметризованной аппроксимации плотности вероятностей акустических сигналов. **Используемые методы:** в работе использовались прямые и косвенные методы оценивания моделей плотности вероятностей, теории аппроксимации и интерполяции, метод барьерных функций, метод восстановления плотности вероятностей по ограниченному объему данных, метод условной оптимизации с ограничениями. **Научная новизна** работы заключается в рассмотрении вопросов параметрического и непараметрического оценивания моделей плотности вероятностей акустических сигналов в телекоммуникационных системах связи и обмена аудиоинформацией. **Результат:** разработаны и исследованы прямые и косвенные методы оценивания плотности вероятностей акустических сигналов и помех, получены ядерные и проекционные оценки плотности вероятностей, получены гистограммные оценки плотности вероятностей в условиях ограниченного объема данных, обоснована возможность применения метода барьерных функций для оценивания параметризованной аппроксимации плотности вероятностей акустических сигналов в системах телекоммуникаций. **Практическая значимость:** применение метода барьерных функций показало его эффективность по сравнению с известными результатами, практическая реализация алгоритмов минимизации приведенных функционалов обуславливает появление вопросов выбора базисных функций и требуемого порядка многочленов, аппроксимирующих плотности распределения.

Ключевые слова: плотность вероятностей, акустические сигналы, телекоммуникационные системы, аппроксимация, гистограммное оценивание.

1. Введение

Оценка моделей распределений плотности вероятностей акустических сигналов и помех основывается на результатах измерений, полученных из эксперимента. Известен ряд методов получения таких оценок. К ним относятся параметрические и непараметрические, прямые и косвенные методы [1].

Библиографическая ссылка на статью:

Кропотов Ю. А. Методы оценивания моделей плотности вероятностей акустических сигналов в телекоммуникациях аудиообмена // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 26-39. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/03-Kropotov.pdf>.

Reference for citation:

Kropotov Y. A. Methods of estimation models of the acoustic signals probability density in telecommunications audio-exchange systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 26-39. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/03-Kropotov.pdf>.

Под параметрическими понимаются методы, в рамках которых плотность вероятностей известна с точностью до параметров, то есть имеет вид $f(x, \theta) \equiv f_{\theta}(x)$, где $x \in R^n$ и $\theta \in R^m$ являются соответственно векторами случайных переменных и неизвестных параметров. Такое задание распределений характерно, например, для задач обнаружения и оценивания сигналов.

В задачах обнаружения предполагается, что наблюдаемые данные принадлежат одному из нескольких классов, каждый из которых характеризуется своей априорно известной плотностью вероятностей $f_k(x)$, или, в частности, своим набором параметров θ_k . При этом плотность $f_k(x) = f(x, \theta_k)$, а задача заключается в соотношении наблюдаемых данных одному из известных распределений. Наоборот, в задачах оценивания вектор параметров θ считается неизвестным, притом, что сама функция $f(x, \theta)$ может представлять собой известную плотность вероятностей [7, 8, 9].

Если же функция $f(x, \theta)$ не является плотностью вероятностей, то методы оценивания вектора параметров θ считаются непараметрическими. В данном случае – это задача аппроксимации или приближения наблюдаемых данных. Полученная в результате аппроксимации функция $f(x, \theta)$ должна удовлетворять ограничениям

$$f(x, \theta) \geq 0 \text{ и } \int_{-\infty}^{\infty} f(x, \theta) dx = 1. \quad (1.1)$$

Провести четкое разграничение между параметрическими и непараметрическими методами оказывается не всегда возможным. Так, задачу приближения данных смесью известных распределений можно представить функциями плотности в виде

$$\psi_k(x, \theta_k), f(x, \theta) = \sum_k a_k \psi_k(x, \theta_k), \sum_k a_k = 1. \quad (1.2)$$

В этом случае функцию плотности (1.2) целесообразнее отнести к классу непараметрических задач. Однако если коэффициенты $a_k \geq 0$ являются известными, то задачу можно рассматривать как параметрическую.

2. Прямые и косвенные методы оценивания плотности вероятностей

В ряде работ методы оценивания плотности вероятностей подразделяют на прямые и косвенные. При этом основной чертой прямых методов считается использование прямой связи искомой плотности с эмпирическими данными [2]. Так, к прямым относятся методы, основанные на решении интегрального уравнения, связывающего плотность вероятностей с эмпирической функцией распределения

$$\int_{-\infty}^{\infty} I(x-v) f(v) dv = F_n^*(x), \quad (2.1)$$

где $F_n^*(x)$ является эмпирической функцией распределения ступенчатого вида. При этом решение уравнения (2.1) дает искомую оценку плотности

вероятностей.

Эмпирическая функция распределения находится по формуле

$$F_n^*(x) = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N I_{(-\infty, x]}(x_l), \quad (2.2)$$

где $I_{(-\infty, x]}(x_l)$ – индикатор множества $(-\infty, x]$,

$$I_{(-\infty, x]}(x_l) = \begin{cases} 1, & x_l \in (-\infty, x] \\ 0, & x_l \notin (-\infty, x] \end{cases}, \quad N - \text{объем выборки.}$$

Задача решения уравнения (2.1) с функцией (2.2), как уже указывалось, относится к классу некорректных и требует применения особых методов. Особенно некорректность проявляется при небольшом объеме выборки. При этом потребность восстановления плотности вероятностей по ограниченному объему данных возникает довольно часто, например, в связи с анализом и сегментацией нестационарных, в частности, речевых сигналов, статистические характеристики которых могут считаться неизменными только на интервалах однотипных звуков.

В отличие от прямых, косвенные методы основываются на минимизации функционалов среднего риска, описываемых выражениями вида

$$R(\theta) = \int Q(x, \theta) dF(x),$$

или соответствующих им эмпирических функционалов вида

$$R_n(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^n Q(x_l, \theta).$$

По данному критерию к косвенным методам относится, например, метод максимального правдоподобия.

Прямыми методами могут также являться, например, методы гистограмм и методы, основанные на применении аппроксимации δ -функции в выражении вида

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x-v) f(v) dv. \quad (2.3)$$

Однако провести четкую границу между прямыми и косвенными методами, в общем, не всегда возможно. И обусловлено это тем, что в обоих случаях задача нахождения оценки плотности может привести к задаче минимизации некоторого функционала от эмпирических данных, в частности, от эмпирической функции распределения.

3. О ядерных и проекционных оценках плотности вероятностей

Непараметрические оценки плотности вероятностей это обычно функции, полученные в результате аппроксимации эмпирических данных, часто по системе линейно независимых функций [2, 3]. Выражение для плотности имеет при этом вид

$$f(x, \theta) = \sum_k a_k \phi_k(x, \theta_k). \quad (3.1)$$

В качестве системы $\varphi_k(x, \theta_k)$ могут, например, использоваться алгебраические и тригонометрические многочлены, сплайны, функции нормального и двухстороннего экспоненциального распределения с неизвестными параметрами. Параметры функции (3.1) находятся при этом в результате решения задачи минимизации

$$J(f, a, \theta) \rightarrow \min, \quad (3.2)$$

с ограничениями

$$f(x, \theta) \geq 0 \text{ и } \int_{-\infty}^{\infty} f(x, \theta) dx = 1, \quad (3.3)$$

где a и θ - векторы коэффициентов a_k и параметров функций системы $\varphi_k(x, \theta_k)$.

Если данные представить эмпирической функцией распределения $F^*(x)$, то функционал (3.1), подлежащий минимизации, записывается в виде

$$J(f, a, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} (\hat{F}(x, a, \theta) - F^*(x))^2 \mu(dx) + \alpha_N Q(f(x, a, \theta)), \quad (3.4)$$

где $\hat{F}(x, a, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(v, a, \theta) dv$ и $Q(f)$ - регуляризирующий функционал, например, вида

$$Q(f) = \int_{-\infty}^{\infty} q(x) (f'(x, a, \theta))^2 dx.$$

В этом случае задача минимизации (3.2) записывается в виде

$$\{\hat{a}, \hat{\theta}\} = \arg \min_{a, \theta} \|\tilde{F}(x, a, \theta) - F_n^*(x)\|^2 + \alpha_j Q(f(x, a, \theta)), \quad (3.5)$$

при ограничениях (3.3).

В случае, когда эмпирические данные представлены эмпирической плотностью вероятностей, задача записывается в виде

$$\{\hat{a}, \hat{\theta}\} = \arg \min_{a, \theta} \sum_{l=1}^n (a^T \varphi(x_l, \theta) - f_l^*)^2 + \alpha_j Q(f(x, a, \theta)). \quad (3.6)$$

Здесь $f_l^* = \frac{n_l}{\Delta x_l N}$ - эмпирическая плотность при разбиении области ее определения на интервалы различной длины $\Delta x_l = x_l - x_{l-1}$, n_l - число значений случайной величины, наблюдаемой в интервале Δx_l , и N - объем выборки.

В общем случае нахождение функций плотности является задачей условной оптимизации с ограничениями и требует применения численных методов. Одним из возможных подходов здесь является сведение условной задачи оптимизации к безусловной задаче с помощью методов барьерных или штрафных функций. В рамках этих методов задача условной минимизации сводится к последовательности безусловных задач, отличающихся параметром барьерной или штрафной функции. Согласно [18, 19] метод барьерных функций

применим не только при решении задач оптимизации с ограничениями в виде неравенств, но и с ограничениями-равенствами. При использовании метода барьерных функций задача минимизации (3.2) с ограничениями (3.3) сводится к последовательному решению безусловных задач

$$q(a, \theta) = J(a, \theta) - \frac{1}{\lambda_j} \sum_l \mu(f(a^j, \theta^j)) \rightarrow \min ,$$

для заранее заданной последовательности параметра барьерной функции $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3 < \dots$. Барьерная функция может быть задана различными способами. Основное требование, предъявляемое к ней, заключено в условиях:

функция $-\frac{1}{\lambda_j} \mu(g_l)$ при любом параметре барьера $\lambda_l > 0$ должна стремиться к бесконечности при приближении к границе допустимого множества, то есть $-\frac{1}{\lambda_j} \mu(g_l) \rightarrow \infty$, если $g_l \rightarrow 0$, а при любом конечном значении $g_l > 0$, $-\frac{1}{\lambda_j} \mu(g_l) \rightarrow 0$, если $\lambda_j \rightarrow \infty$.

Одна из таких функций описывается выражением $-\frac{1}{\lambda} \mu(g_l) = -\frac{1}{\lambda} \ln(-g_l)$, графики которой при нескольких параметрах масштаба приведены на рис. 1.

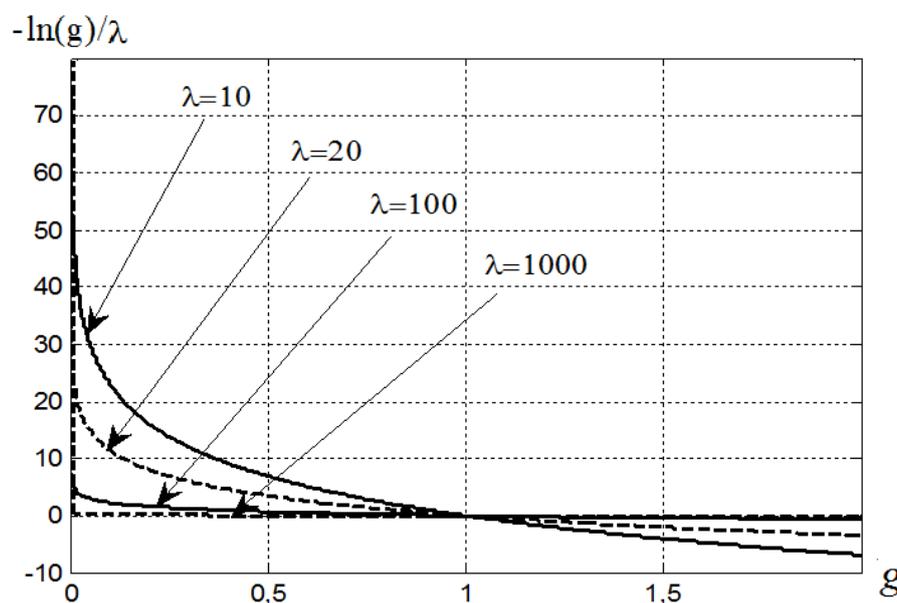


Рис. 1. Графики логарифмической барьерной функции

Каждый цикл минимизации начинается с нахождения точки a^0, θ^0 отрицательного минимума целевой функции (3.5) или (3.6) с параметрами, полученными по завершении предыдущего цикла, то есть по достижении параметром λ_k некоторого значения, обеспечивающего допустимую ошибку оценивания векторов a^*, θ^* . При этом на первом цикле начальные векторы

a^0, θ^0 представляют собой решения задачи (3.5) или (3.6) в отсутствие неравенств.

Однако, при наличии нескольких отрицательных минимумов алгоритм не гарантирует получение неотрицательной функции и требуется увеличение числа ограничений-неравенств в точках отрицательных минимумов x^{l*} , что приводит к минимизации функции $q(a, \theta) = J(a, \theta) - \frac{1}{\lambda} \sum_{l=1}^h \mu(f(x^{l*}, a, \theta)) \rightarrow \min$.

Следует отметить, что количество точек, в которых на аппроксимирующую функцию накладываются ограничения типа неравенства, в общем, зависит от установленной степени сглаживания данных, числа подлежащих выявлению экстремальных точек и от размера системы базисных функций, увеличиваясь с ростом диапазона скоростей их изменения. В рамках метода барьерной функции осуществляется варьирование аппроксимирующих функций в окрестности отрицательных минимумов. При этом в начале каждого нового цикла минимизации, функция (1.1) варьируется таким образом, чтобы обеспечить сходимость решения к неотрицательной величине, что позволяет представить решение задачи минимизации в виде

$$f(x, a, \theta) = \sum_{k=1}^m a_k \phi_k(x, \theta_k) + \sum_{j=1}^{h_l} \delta f(x, x^{j*}),$$

где первое слагаемое отвечает решению задачи в отсутствие неравенств, а второе – вариации этого решения на цикле l .

При гистограммном оценивании плотности варьированию можно подвергать не аппроксимирующие функции, а распределения данных по интервалам и координаты точек, к которым привязываются значения эмпирической плотности вероятностей.

Применение метода барьерных функций показало его эффективность по сравнению с результатами работ [4, 17]. Практическая реализация алгоритмов минимизации приведенных функционалов обуславливает появление вопросов выбора базисных функций и требуемого порядка многочленов, аппроксимирующих плотности распределения. Кажется очевидным, что ответы на эти вопросы зависят от объема используемых данных и свойств исследуемых явлений. В качестве базисных функций можно, в частности, использовать функции нормального распределения и распределения Лапласа. Можно ожидать, что с помощью функций Лапласа лучше аппроксимируются островершинные, а с помощью функций нормального распределения – гладкие распределения. Соответствующие этим функциям многочлены записываются в виде [1, 2, 5, 13]

$$f_L(x) = \sum_{k=1}^m c_k e^{-a_k |x - v_k|}, \quad f_\Gamma(x) = \sum_{k=1}^m c_k e^{-a_k (x - v_k)^2}.$$

Помимо экспоненциальных и гауссовых функций в базисных системах могут использоваться степенные и ортогональные многочлены, сплайны и всплески (вейвлеты) [14, 15, 16].

4. Гистограммные оценки плотности вероятностей

Гистограмма – это столбчатая диаграмма-график, характеризующий распределение случайной величины. Высота каждого столбца отражает число значений случайной величины, попадающей в исследуемый интервал [1, 8].

Отношение числа значений n_l случайной величины в исследуемом интервале $(x_{l-1}, x_l]$ к общему числу значений N представляет собой эмпирическую вероятность события $x \in (x_{l-1}, x_l]$ и должно подчиняться ограничению в виде равенства

$$\frac{1}{N} \sum_{l=-N/2}^{N/2} n_l = 1. \quad (4.1)$$

Теоретическое значение этой вероятности записывается через плотность вероятностей как

$$P(x \in (x_{l-1}, x_l]) = \int_{x_{l-1}}^{x_l} f(x) dx. \quad (4.2)$$

Если приравнять теоретическую и эмпирическую плотности и принять, что в пределах каждого интервала изменением плотности вероятности можно пренебречь, то оценку плотности можно записать в виде

$$f_l(x_l) = \frac{n_l}{N}, \quad -\frac{N}{2} \leq l \leq \frac{N}{2}. \quad (4.3)$$

Значения оценок, полученных по формуле (4.3), далее могут быть использованы в целях аппроксимации плотности вероятностей.

График полученной в результате аппроксимации плотности вероятностей строится по точкам (x_l, f_l) в координатах x, f . При этом, в зависимости от объема данных, могут быть использованы как методы численной интерполяции, так и приближения функций. В обоих случаях задача заключается в построении многочлена $P(x, \mathbf{a})$ по системе функций

$$\varphi_i(x), \quad i = 1, \dots, m, \quad P(x, \mathbf{a}) = \sum_{i=1}^m a_i \varphi_i(x) = \mathbf{a}^T \boldsymbol{\varphi}(x), \quad (4.4)$$

где $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_m)^T$ и $\boldsymbol{\varphi}(x) = (\varphi_1(x), \dots, \varphi_m(x))^T$.

Аппроксимация плотности вероятностей методами сглаживания является задачей наименьших квадратов. Задача здесь заключается в минимизации суммы квадратов невязки сглаживающего многочлена и оценок плотности f_l . Подлежащий минимизации функционал записывается в виде

$$J(\mathbf{a}) = \sum_{l=1}^n (\mathbf{a}^T \boldsymbol{\varphi}(x_l) - f_l)^2. \quad (4.5)$$

В целях сглаживания данных, как и при интерполяции, можно воспользоваться методами локальной аппроксимации, обобщив их в плане требуемого, в частности, гладкого сопряжения многочленов, определенных на последовательности интервалов и доставляющих минимальные значения

функционалам вида (3.4) при ограничениях, задаваемых условиями сопряжения.

Гистограммным методам оценивания плотности вероятностей, особенно посредством интерполяции, при небольших размерах выборки присуща проблема разбиения множества значений случайной величины на интервалы. На рис. 2а, и рис. 2б показаны гистограммы смеси двух нормальных распределений.

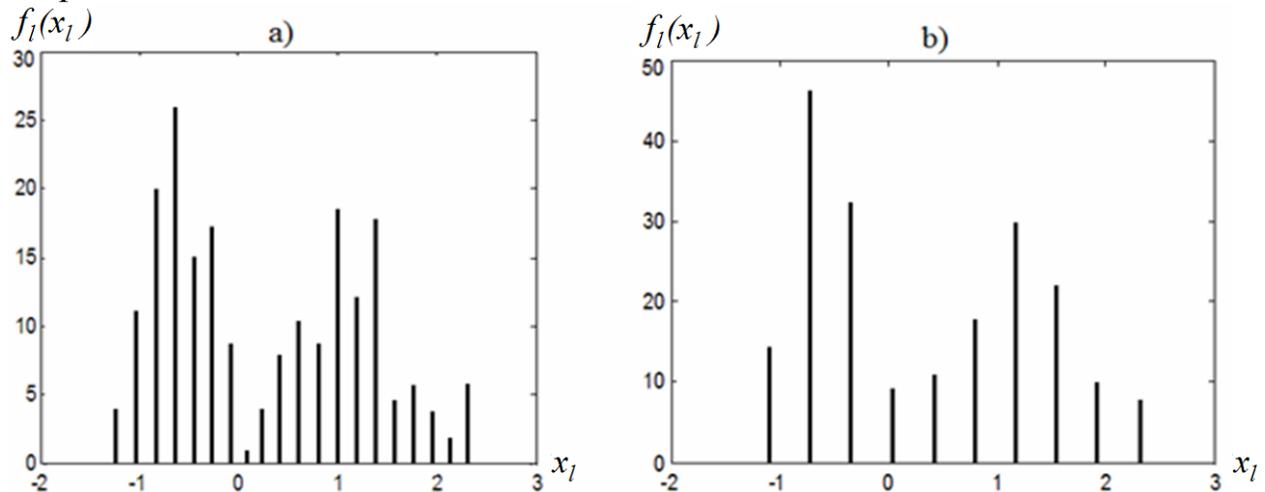


Рис. 2. Гистограммы смеси нормальных распределений при разбиении области значений на $m = 20$ (а) и $m = 10$ (б) интервалов

Из этого рисунка видно, что при разбиении множества значений случайной величины на 20 интервалов (рис. 2а) интерполяционный подход не позволяет восстановить истинную форму распределения и сделать правильные выводы. Ситуация улучшается при разбиении указанного множества на 10 интервалов (рис. 2б). В этом случае получается график, близкий по форме к истинной двумодальной плотности вероятностей.

Решение этой проблемы осуществимо в рамках адаптивного разбиения множества значений случайной величины на интервалы, не обязательно одинаковой длины. Оптимальное разбиение находится в этом случае посредством варьирования длины и центров интервалов и сравнения получаемых результатов, возможно с их последующим усреднением.

При локальной, в том числе обобщенной локальной, аппроксимации проблема разбиения стоит менее остро, и связана, наоборот, с обеспечением достаточного для сглаживания числа интервалов. Однако при этом возникает новый вопрос – вопрос выбора алгоритма, обеспечивающего оптимальную степень сглаживания эмпирических оценок. Разрешение этого вопроса осуществимо методами, основанными на варьировании свободных параметров алгоритма с последующим выбором наилучшей по некоторому критерию оценки.

Еще одной проблемой, как для интерполяционных, так и для сглаживающих методов аппроксимации является проблема обеспечения принадлежности оценки $\hat{f}(x)$ к классу функций плотности вероятностей. Эти условия в рамках локальной аппроксимации могут быть учтены посредством введения в задачу минимизации функционала (3.1) соответствующих

ограничений, а в рамках интерполяционного подхода – посредством варьирования длины и центров интервалов разбиения.

Нахождение коэффициентов многочлена методами оптимизации является задачей линейной регрессии. Однако на практике эти многочлены часто строятся по системам типовых плотностей вероятностей, нелинейно зависящих от некоторого множества параметров. В этом случае, если ввести вектор параметров $\theta = (\theta_l, L, \theta_r)^T$, можно определить многочлен

$$P(x, \mathbf{a}, \theta) = \sum_{k=1}^m a_k \varphi_k(x, \theta) = \mathbf{a}^T \boldsymbol{\varphi}(x, \theta),$$

где $\boldsymbol{\varphi}(x, \theta) = (\varphi_1(x, \theta), \dots, \varphi_m(x, \theta))^T$.

Соответственно оценка плотности записывается в виде

$$\hat{f}(x) = \sum_{k=1}^m \hat{a}_k \varphi_k(x, \hat{\theta}) = \hat{\mathbf{a}}^T \boldsymbol{\varphi}(x, \hat{\theta}),$$

где параметры оценки являются решением задачи минимизации

$$\{\hat{\mathbf{a}}, \hat{\theta}\} = \arg \min_{\mathbf{a}, \theta} \sum_{l=1}^n (\mathbf{a}^T \boldsymbol{\varphi}(x_l, \theta) - f_l)^2.$$

Нахождение векторных параметров \mathbf{a} и θ в этом случае относится к классу нелинейных задач, которые, как правило, решаются методами оптимизации с ограничениями.

5. Заключение

Таким образом, в работе исследованы прямые и косвенные методы оценки плотности вероятностей акустических сигналов и помех, имеющих место в информационно-управляющих системах телекоммуникаций. Исследованы ядерная и проекционная модели оценки плотности вероятности, основанные на аппроксимации плотности вероятности. В работе применялся метод оценки гистограммы смеси нормальных распределений, который показал, что при разбиении множества значений случайной величины на интервалы, не всегда возможно восстановить форму распределений. Показано, что восстановление достаточно точной формы распределений можно обеспечить с помощью адаптивного оптимального разбиения путем изменения длины интервалов и центров интервалов разбиения.

Литература

1. Кропотов Ю. А., Парамонов А. А. Методы проектирования алгоритмов обработки информации телекоммуникационных систем аудиообмена. Монография. - Москва Берлин: Директ медиа. 2015. 226 с.
2. Кропотов Ю. А. Временной интервал определения закона распределения вероятности амплитуд речевого сигнала // Радиотехника. 2006. № 6. С. 97-98.

3. Ермолаев В. А., Кропотов Ю. А. О корреляционном оценивании параметров моделей акустических эхо-сигналов // Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т. 1. № 1. С. 46-50.

4. Кропотов Ю. А., Быков А. А. Алгоритм подавления акустических шумов и сосредоточенных помех с формантным распределением полос режекции // Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т. 1. № 1. С. 60-65.

5. Быков А. А., Кропотов Ю. А. Аппроксимация закона распределения вероятности отсчетов сигналов акустических помех // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2011. № 2. С. 61-66.

6. Ермолаев В. А., Карасев О. Е., Кропотов Ю. А. Метод интерполяционной фильтрации в задачах обработки речевых сигналов во временной области // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2008. № 7. С. 12-17.

7. Ермолаев В. А., Еременко В. Т., Карасев О. Е., Кропотов Ю. А. Идентификация моделей дискретных линейных систем с переменными, медленно изменяющимися параметрами // Радиотехника и электроника. 2010. Т. 55. № 1. С. 57-62.

8. Kropotov Y. A., Ermolaev V. A. Algoritmy obrabotki akusticheskikh signalov v telekommunikacionnyh sistemah metodami lokal'nogo parametriceskogo analiza [Algorithms for processing acoustic signals in telecommunication systems by local parametric methods of analysis]. *Trudy mezhdunarodnoj sibirskoj konferencii po upravleniju i svjazi SIBCON-2015* [Proceedings International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015)]. Omsk: Omsk State Technical University. Russia, 2015, pp. 345-348.

9. Ermolaev V. A., Kropotov Y. A. Issledovanie parametrov modelej akusticheskikh jecho-signalov s pomoshh'ju metoda ocenki korrelyacii [Investigation of parameters of models of acoustic ECHO-signals by method of correlation estimation]. *Trudy 20 mezhdunarodnoj krymskoj konferencii "SVCh-tehnika i telekommunikacionnye tehnologii"* [Proceedings of 20 th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"]. Sevastopol, 2010, vol. 1, pp. 422-423.

10. Kropotov Y. A. Upravlenie podavleniem pomeh kanalov v mnogokanal'nyh sistemah peredachi akusticheskikh signalov [Management of the channel suppression hindrances in multichannel systems of transfer acoustic signals]. *Trudy pervoj rossijskoj i tihookeanskoj konferencii "Komp'juternye tehnologii i prilozhenija (RPC 2010)* [Proceedings of First Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC 2010)]. Vladivostok: IACP FEB RAS, 2010, pp. 399-400.

11. Кропотов Ю. А. Статистические параметры сигналов при проектировании оперативно-командных телекоммуникационных систем // В мире научных открытий. 2010. № 6-1. С. 39-44.

12. Кропотов Ю. А., Ермолаев В. А. Вопросы параметрического представления нестационарных сигналов // Проектирование и технология электронных средств. 2010. № 1. С. 31.

13. Быков А. А., Кропотов Ю. А. Модель закона распределения вероятности амплитуд сигналов в базисе экспоненциальных функций системы // Проектирование и технология электронных средств. 2007. № 2. С. 30-34.

14. Белов А. А., Кропотов Ю. А. Исследование вопросов сжатия и поиска картографической информации методом вейвлет-преобразований в экологической геоинформационной системе // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2008. № 12. С. 9-14.

15. Кропотов Ю. А., Белов А. А. Исследование статистических характеристик оцифрованных сигналов систем телекоммуникаций аудиообмена // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 150-157.

16. Белов А. А., Кропотов Ю. А., Проскуряков А. Ю. Автоматизированный анализ и обработка временных рядов данных о загрязняющих выбросах в системе экологического контроля // Информационные системы и технологии. 2010. № 6 (62). С. 28-35.

17. Кропотов Ю. А. Алгоритм определения параметров экспоненциальной аппроксимации закона распределения вероятности амплитуд речевого сигнала // Радиотехника. 2007. № 6. С. 44-47.

18. Ермолаев В. А., Кропотов Ю. А. Оценивание параметризованной аппроксимации плотности вероятностей методом барьерных функций // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. № 3 (11). С. 37-43.

19. Ермолаев В. А., Кропотов Ю. А. Метод барьерных функций в задаче оценивания параметризованной аппроксимации плотности вероятностей с ограничениями // Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. Т. 56. № 9-2. С. 209-211.

References

1. Kropotov Y. A., Paramonov A. A. *Metody proektirovaniya algoritmov obrabotki informacii telekommunikacionnyh sistem audioobmena: monographia* [Methods of designing information processing telecommunications systems sharing audio algorithms: monograph.] Moscow-Berlin, Direct Media Publ., 2015. 226 p. (in Russian).

2. Kropotov Y. A. Vremenoj interval opredelenija zakona raspredelenija verojatnosti amplitud rechevogo signala [The time interval determining the distribution law of probability amplitudes of speech]. *Radiotekhnika*, 2006, no. 6, pp. 97-98 (in Russian).

3. Ermolaev V. A., Kropotov Y. A. O korreljacionnom ocenivanii parametrov modelej akusticheskikh jeho-signalov [About correlation estimation of the parameters of acoustic echo models]. *Questions of radio-electronics*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 46-50 (in Russian).

4. Kropotov Y. A., Bykov A. A. Algoritm podavlenija akusticheskikh shumov i sosredotochennyh pomeh s formantnym raspredeleniem polos rezhekcii [Algorithm acoustic noise suppression and interference with concentrated formant distribution]

rejection bands]. *Questions of radio-electronics*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 60-65 (in Russian).

5. Bykov A. A., Kropotov Y. A. Approximacija zakona raspredelenija verojatnosti otschetov signalov akusticheskikh pomeh [Approximation of law probability distribution of acoustic noise signal samples]. *Radio and telecommunication systems*, 2011, no. 2, pp. 61-66 (in Russian).

6. Ermolaev V. A., Karasev O. E., Kropotov Y. A. Metod interpoljacionnoj fil'tracii v zadachah obrabotki rechevyh signalov vo vremennoj oblasti [Interpolation filtering method in problems of speech signal processing in the time domain]. *Vestnik komp'juternykh i informatsionnykh tekhnologii*, 2008, no. 7, pp. 12-17 (in Russian).

7. Ermolaev V. A., Eremenko V. T., Karasev O. E., Kropotov Y. A. Identifikacija modelej diskretnykh linejnyh sistem s peremennymi, medlenno izmenjajushhimisja parametrami [Identification of models for discrete linear systems with variable, slowly varying parameters]. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2010, vol. 55, no. 1, pp. 57-62.

8. Kropotov Y. A., Ermolaev V. A. Algoritmy obrabotki akusticheskikh signalov v telekommunikacionnyh sistemah metodami lokal'nogo parametriceskogo analiza [Algorithms for processing acoustic signals in telecommunication systems by local parametric methods of analysis]. *Trudy mezhdunarodnoj sibirskoj konferencii po upravleniju i svjazi SIBCON-2015* [Proceedings International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015)]. Omsk, Omsk State Technical University, 2015, pp. 345-348.

9. Ermolaev V. A., Kropotov Y. A. Issledovanie parametrov modelej akusticheskikh jeho-signalov s pomoshh'ju metoda ocenki korrelyacii [Investigation of parameters of models of acoustic ECHO-signals by method of correlation estimation]. *Trudy 20 mezhdunarodnoj krymskoj konferencii "SVCh-tehnika i telekommunikacionnye tekhnologii"* [Proceedings of 20th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"]. Sevastopol, 2010, vol. 1, pp. 422-423.

10. Kropotov Y. A. Upravlenie podavleniem pomeh kanalov v mnogokanal'nyh sistemah peredachi akusticheskikh signalov [Management of the channel suppression hindrances in multichannel systems of transfer acoustic signals]. *Trudy pervoj rossijskoj i tihookeanskoj konferencii "Komp'juternye tekhnologii i prilozhenija (RPC 2010)"* [Proceedings of First Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC 2010)]. Vladivostok, 2010, pp. 399-400.

11. Kropotov Y. A. Statisticheskie parametry signalov pri proektirovanii operativno-komandnyh telekommunikacionnyh sistem [Statistical parameters of signals in the design of operational command of telecommunication systems]. *In the World of Scientific Discoveries*, 2010, no. 6-1, pp. 39-44 (in Russian).

12. Kropotov Y. A., Ermolaev V. A. Voprosy parametriceskogo predstavlenija nestacionarnykh signalov [Questions parametric representation of non-stationary signals]. *Design and technology of electronic means*, 2010, no. 1, p. 31 (in Russian).

13. Bykov A. A., Kropotov Y. A. Model' zakona raspredelenija verojatnosti amplitud signalov v bazise jeksponencial'nyh funkcij sistemy [Model law probability distribution of the signal amplitudes in the basis of the system of exponential functions]. *Design and technology of electronic means*, 2007, no. 2, pp. 30-34 (in Russian).

14. Belov A. A., Kropotov Y. A. Issledovanie voprosov szhatija i poiska kartograficheskoj informacii metodom vejvlet-preobrazovanij v jekologicheskoj geoinformacionnoj sisteme [Study on the compression and map information search method wavelet transforms environmental geographic information system]. *Vestnik komp'juternyx i informatsionnykh tekhnologii*, 2008, no. 12, pp. 9-14 (in Russian).

15. Kropotov Y. A., Belov A. A. Research of the statistical characteristics of digitized signals in telecommunications audio exchange systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 4, pp. 150-157 (in Russian).

16. Belov A. A., Kropotov Y. A., Proskuryakov A.Y. Avtomatizirovannyj analiz i obrabotka vremennyh rjadov dannyh o zagryznajushhih vybrosah v sisteme jekologicheskogo kontrolja [Automated analysis and processing of time-series data on polluting emissions in the system of environmental control]. *Information systems and technologies*, 2010, no. 6 (62), pp. 28-35 (in Russian).

17. Kropotov Y. A. Algoritm opredelenija parametrov jeksponencial'noj approksimacii zakona raspredelenija verojatnosti amplitud rechevogo signala [The algorithm for determining the parameters of the exponential approximation law of the probability distribution of the amplitude of the speech signal]. *Radiotekhnika*, 2007, no. 6, pp. 44-47 (in Russian).

18. Ermolaev V. A., Kropotov Y. A. Ocenivanie parametrizovannoj approksimacii plotnosti verojatnostej metodom bar'ernyh funkcij [Evaluation of parameterized probability density approximation method of barrier functions]. *Radio and telecommunication systems*, 2013., no. 3 (11), pp. 37-43 (in Russian).

19. Ermolaev V. A., Kropotov Y. A. Metod bar'ernyh funkcij v zadache ocenivanija parametrizovannoj approksimacii plotnosti verojatnostej s ogranichenijami [The method of barrier functions in the problem of estimating the probability density of the parameterized approximation with constraints]. *Russian Physics Journal*, 2013, vol. 56, no. 9-2, pp. 209-211 (in Russian).

Статья поступила 10 января 2017 г.

Информация об авторе

Кропотов Юрий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». Область научных интересов: телекоммуникационные и информационно-управляющие системы. Тел.: +7(49234)772-72. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Адрес: Россия, 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

Methods of estimation models of the acoustic signals probability density in telecommunications audio-exchange systems

Y. A. Kropotov

Statement of the problem: estimation models of the acoustic signals of the probability density in telecom systems is overdue because of the need to improve the efficiency of data transmission and improve the efficiency of the exchange of information on operational and command communications systems. The work is devoted to research on the challenges of modeling the acoustic signals in the information and control systems, telecommunications audioobmena. The object of research is the model probability density functions, which can create a more efficient allocation of algorithms signals against external acoustic noise and interference in the audio information exchange telecommunications systems. **Object of research** are models of probability density functions, which can create a more efficient allocation of algorithms signals against external acoustic noise and interference in the audio information exchange telecommunications systems. **The purpose** is to development and study of direct and indirect methods of estimating the density of acoustic signals and interference probabilities, the receipt and investigation of nuclear and projection estimates the probability density histogram to obtain the probability density estimators, investigate the possibility of applying the method of barrier functions for the evaluation of the parameterized approximation of the density of probability of the acoustic signals. **Used methods:** we used direct and indirect methods of estimating models of the probability density approximation and interpolation theory, method of barrier functions, probability density recovery method for a limited amount of data, constrained optimization method with constraints. **The scientific novelty** of the work lies in addressing the parametric and nonparametric estimation models of the probability density of the acoustic signals in telecommunication systems, communication and exchange of audio information. **Results:** developed and investigated the direct and indirect methods of estimating the density of the acoustic signals of probabilities and interference obtained nuclear and projection assessment of the probability density, obtained histogram estimation of the probability density in a limited amount of data proved that the method of barrier functions for the evaluation of the parameterized approximation of the density of the acoustic signals of probabilities . in telecommunication systems. **Practical value:** the use of the method of barrier functions has shown its efficiency in comparison with known results, the practical implementation of algorithms to minimize the above functional causes the appearance of problems of choice of basis functions and the required order of polynomials approximating the density distribution.

Key words: probability density, acoustic signals, telecommunication systems, approximation, histogram evaluation.

Information about Author

Yurij Anatolievich Kropotov – Dr. of Engineering Sciences, Full Professor. Head of the Department «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: telecommunication information and control systems. Ph.: +7(49234)77272. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Address: Russia, 602264, Murom, st. Orlovskaya, h. 23.

УДК 621.396.969

Алгоритм обнаружения и определения координат объекта с использованием двулучевого метода загоризонтной радиолокации

Алешкин А. П., Артющкин А. Б., Дуников А. С., Никифоров С. В.

Постановка задачи: потенциальная возможность загоризонтных радиолокационных станций обнаруживать объекты, находящиеся за пределами прямой видимости, на удалении сотен и тысяч километров актуализирует вопросы снижения погрешности выполняемых с их помощью измерений. Известные способы обнаружения и определения координат целей станциями загоризонтной радиолокации не позволяют оценивать вектор состояния этих объектов с точностью, достаточной для однозначного определения местоположения или построения их траекторий. **Целью работы** является повышение точности измерений, выполняемых загоризонтными радиолокационными станциями. Для этого предлагается применять алгоритм обнаружения и определения координат объекта, основанный на использовании двух лоцирующих лучей. **Используемые методы.** Решение задачи обнаружения и определения координат объекта основано на использовании вновь разработанного двулучевого метода загоризонтной радиолокации, методов геометрической оптики, а также применении адекватных моделей канала распространения радиолокационных сигналов и способов уточнения их текущих параметров. **Новизна.** Элементами новизны представленного решения являются использование для определения координат объекта двух радиолокационных лучей, а также применение оптимизационных процедур с целью уточнения параметров используемой модели канала распространения сигналов. **Результат.** На основе вновь разработанного двулучевого метода загоризонтной радиолокации был обоснован алгоритм обнаружения и определения координат одиночной цели. Использование представленного алгоритма дает возможность значительно повысить точность определения положения цели, позволяя переходить при его описании от понятия «тело ошибок» к понятию «точка пересечения кривых неопределенности», то есть – к конкретной точке в пространстве координат. **Практическая значимость.** Представленный алгоритм предлагается реализовать в виде математического обеспечения для работы вычислителей современных средств загоризонтной радиолокации.

Ключевые слова: загоризонтная радиолокация, математическая модель ионосферы, координаты объекта, тело ошибок, обнаружение сигнала.

Актуальность

Поддержание безопасности транспортных сообщений с использованием морских и воздушных судов на необходимом уровне требует постоянного контроля присутствия и характера поведения данных средств на маршруте следования. В том числе, данная задача должна решаться и в случае нахождения судна вне зоны ответственности штатных средств наблюдения, например, на значительном удалении от береговой линии. В экстренных

Библиографическая ссылка на статью:

Алешкин А. П., Артющкин А. Б., Дуников А. С., Никифоров С. В. Алгоритм обнаружения и определения координат объекта с использованием двулучевого метода загоризонтной радиолокации // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 40–48. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/04-Aleshkin.pdf>

Reference for citation:

Aleshkin A. P., Artjushkin A. B., Dunikov A. S., Nikiforov S. V. Algorithm of Detection and Determining Coordinates of Object for the Over-the-Horizon Radar Based on the Two-Beam Scanning Method. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 40–48. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/04-Aleshkin.pdf> (in Russian).

ситуациях не редки случаи нарушения связи с экипажами судов, что негативно сказывается на эффективности проводимых поисково-спасательных операций. Дополнительным источником информации в таких случаях могут служить станции загоризонтной радиолокации, позволяющие контролировать обширные районы на значительном (до нескольких тысяч километров) удалении.

С момента зарождения загоризонтной радиолокации (ЗГ РЛ) в 1940-х годах, развитие ее происходило крайне неравномерно. Темп процесса определялся, в основном, уровнем развития элементной базы, доступной разработчикам на тот момент, возможностями существующих образцов вычислительной техники, наличием эффективных методов и алгоритмов формирования и обработки сигналов.

В основе реализованных на сегодняшний день методов ЗГ РЛ пространственной волны лежит принцип использования единственного зондирующего луча. При этом точность определения координат объектов для таких методов невелика – погрешность может составлять несколько десятков километров. К главным причинам этого можно отнести, во-первых – высокую нестабильность ионосферного слоя, служащего основной средой распространения сигнала ЗГ РЛС, во-вторых – очень широкий телесный угол отраженного ионосферой луча, который, по сути, является эквивалентом диаграммы направленности антенны обычных РЛС, в-третьих – слабый отраженный сигнал и высокий уровень помех.

Значительно повысить точность определения вектора цели позволяет двулучевой метод ЗГ РЛ, предложенный в [1].

Как следует из названия метода, для определения текущих навигационных параметров (ТНП) лоцируемых целей предполагается использование двух сигнальных лучей.

Под сигнальным лучом понимается совокупность траекторий, занимающих некоторую полосу Δf частотных составляющих радиолокационного сигнала с центральной частотой f_{cp} , ширина которой определяется пространственно-временными характеристиками распространения данных составляющих и позволяет считать τ – групповую задержку сигнала относительно момента излучения, мерой пройденного им расстояния до цели и обратно.

Главная задача ЗГ радиолокационной станции (РЛС) состоит в обнаружении цели и определении с требуемой точностью ее траектории. Эта задача включает:

- 1) обнаружение эхо-сигнала от цели при одном положении передающего луча радиолокатора и определение по обнаруженному радиосигналу местоположения цели (отметки от цели) в некоторый момент времени t ;
- 2) организацию просмотра зоны действия ЗГ РЛС для обнаружения эхо-сигналов от всех целей, находящихся в зоне действия, и определение их местоположения;

- 3) обнаружение траектории цели путем получения не менее двух отметок от цели;
- 4) уточнение обнаруженной траектории цели в режиме захвата, т.е. получение такой точности знания траектории, которая допускает последующее регулярное наблюдение цели в режиме сопровождения.

Антенные системы (АС) ЗГ РЛС не позволяют выполнять измерения углов прихода сигналов в меридиональной плоскости с необходимой точностью. Это приводит к необходимости полагать, что угол приема эхо-сигнала может быть любым из множества углов, принадлежащих раскрытию диаграммы направленности Θ АС. При этом границы раскрытия определяются индивидуально для каждого конкретного режима работы ЗГ РЛС, исходя из значений излучаемой мощности сигналов, рабочего частотного диапазона, предполагаемых эффективных площадей рассеяния целей, чувствительности приемника.

Таким образом, для каждого значения задержки радиолокационного сигнала τ может быть найдено множество точек, принадлежащих пространству координат, привязанных к ЗГ РЛС, являющихся конечными точками предполагаемых траекторий его распространения до цели. Множество таких точек образует так называемое «тело ошибок» (на рис. 1 – выделено красным цветом).

Ясно, что чем меньше тело ошибок, тем с меньшей погрешностью могут определяться координаты цели.

С целью увеличения точности расчета траектории распространения зондирующего сигнала с помощью различных видов зондирования выполняется уточнение данных о параметрах канала, под которым понимается, прежде всего, ионосфера. В последнее время находят применение методы уточнения концентрации заряженных частиц с помощью сигналов космических навигационных сетей. Однако даже исчерпывающая информация о распределении значений параметров ионосферы приводит, в случае использования одного рабочего луча, к «стягиванию» тела ошибок не к точке, а к лежащей в меридиональной плоскости кривой.

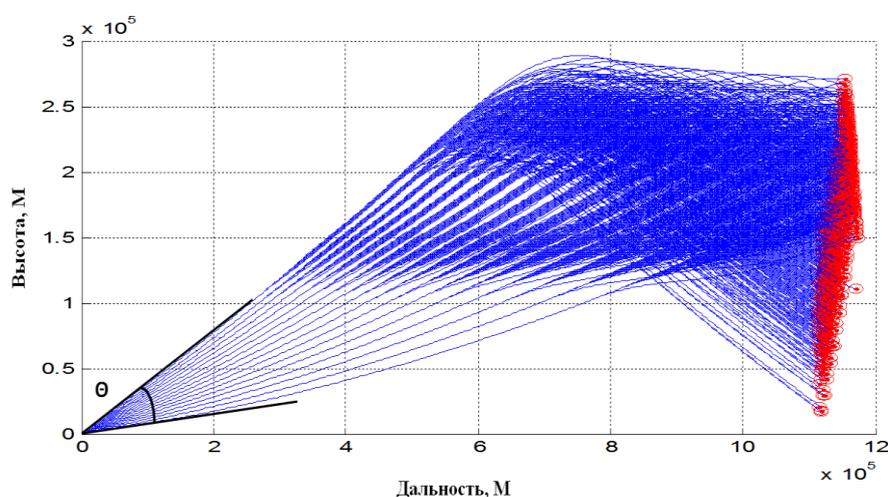


Рис. 1. Формирование «тела ошибок» в процессе определения координат цели однолучевой ЗГ РЛ

Это происходит в силу наличия высокой неопределенности углов приема эхо-сигнала. Наложение ограничений энергетического характера сужает тело ошибок, но не устраняет этой проблемы полностью. Возможности же двухлучевого метода позволяют решать радиолокационную задачу с достижением точностных характеристик, гораздо более высоких, чем характеристики, которыми обладают средства ЗГ РЛ, существующие на сегодняшний день.

Алгоритм

Рассмотрим алгоритм обнаружения и определения координат одиночной цели с использованием предложенного двухлучевого метода загоризонтной радиолокации (рис. 2).



Рис. 2. Алгоритм обнаружения и определения координат объекта с использованием двухлучевого метода загоризонтной радиолокации

Перед выполнением измерений формируется модель канала распространения сигнала: выбирается рабочая модель ионосферы $N(x, y, z, t)$, задаются границы и положение рабочей зоны ЗГ РЛС, определяются частоты сигналов. Для выбранной модели ионосферы, по доступным данным мониторинга, проводится уточнение используемых параметров.

Лоцирование целей в рабочей зоне выполняется двумя лучами с центральными частотами f_{cp1} и f_{cp2} .

Для каждого приемного канала верно следующее. Выходной величиной с приемника РЛС является значение напряжения $u(t)$.

Эхо-сигнал от цели всегда сопровождается шумами, маскирующими сигнал, т.е. напряжение $u(t)$ есть сумма напряжения сигнала и напряжения шума. Для того чтобы уменьшить число обнаружений по шуму, сигналы на выходе приемной аппаратуры ЗГ РЛС сравниваются с порогом обнаружения: если величина входного напряжения $u(t)$ превысит порог $u_{пор}$, то сигнал считается обнаруженным. При этом при известном азимутальном положении плоскости лучей α , фиксируется величина задержки сигнала τ , что в дальнейшем дает возможность определить положение цели в координатах x, y, z . Такую совокупность параметров, полученных в результате превышения порога в ячейке, называют отметкой от цели.

После фиксации двух эхо-сигналов, отраженных от одного объекта, определяются значения соответствующих им задержек τ_1 и τ_2 .

Восстановление траектории распространения сигналов выполняется с привлечением численных методов и методов геометрической оптики, при условии, что известны все начальные условия (НУ), необходимые для решения задачи.

Объем перечня НУ зависит от используемой при расчетах модели канала. В простейшем случае это центральные частоты f_{cp1} и f_{cp2} , задержки сигналов τ_1 и τ_2 , углы приема (излучения) сигналов, параметры используемой модели ионосферы.

При точно известных НУ расчет траектории распространения сигнала является несложной задачей, приводящей к однозначному решению. Однако, в большинстве случаев, они известны с разной степенью близости к своим действительным значениям, а некоторые из них могут задаваться только в виде множеств. Так, несовершенство АС ЗГ РЛС приводит к необходимости полагать, что угол приема эхо-сигнала β может быть любым из входящих в множества углов $\{\beta\}$, принадлежащих раскрытию диаграммы направленности (ДН) АС. Соответственно, результат решения задачи также будет являться множеством. Как уже говорилось, в случае если параметры модели ионосферы известны с достаточно высокой точностью, при расстоянии между элементами $\{\beta\}$ $\Delta\beta \rightarrow 0$ множество решений можно представить некоторой кривой, принадлежащей меридиональной плоскости, называемой «кривой ошибок» или «кривой неопределенности», если же используются приближенные значения параметров, то – двумерным телом ошибок.

Если параметры модели ионосферы мало отличаются от значений, при которых были измерены задержки, получают две пересекающиеся в некоторой точке кривые. В данном случае координаты точки пересечения: h – высоту над поверхностью Земли и x – расстояние от ЗГ РЛС, считают координатами цели (рис. 3).

Если же пересечения не получено, делается вывод о необходимости коррекции параметров действующей модели, влияющих на распространение радиоволн рабочего диапазона, таким образом, чтобы выполнялось условие сведения конечных точек трасс распространения сигналов, рассчитываемых в соответствии с полученными значениями τ_1 и τ_2 .

Решение задачи коррекции модели получают с помощью адаптивных оптимизационных процедур, представленных в [2]. При этом целевая функция представляет собой зависимость суммы квадратов разностей пространственных координат предполагаемых точек отражения O_1 и O_2 от параметров модели ионосферы и углов места β_1 и β_2 прихода радиолокационных сигналов.

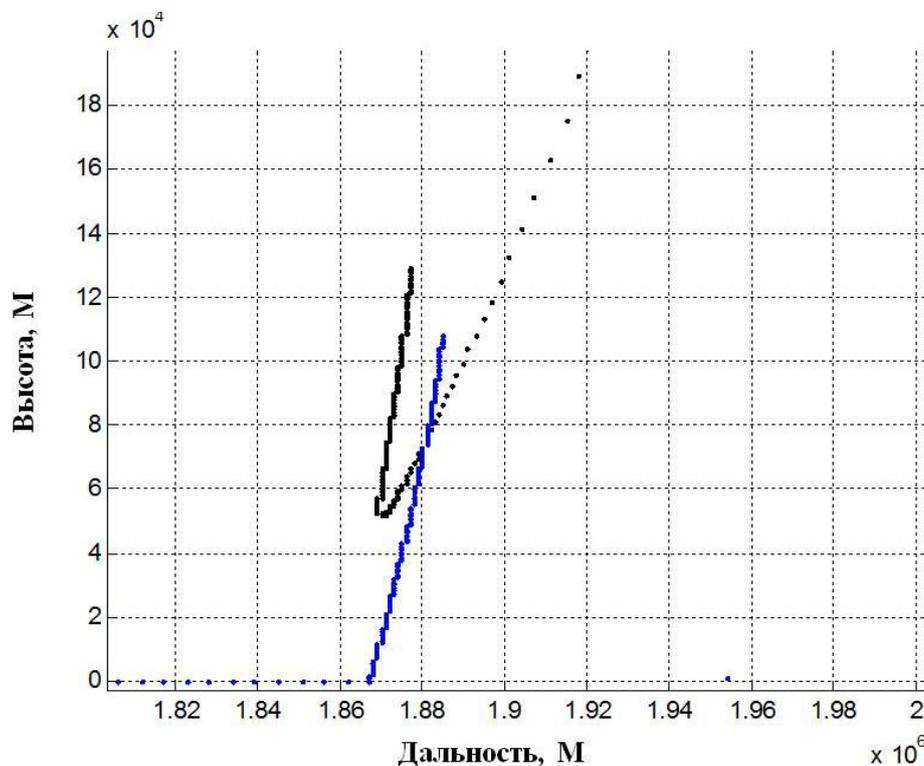


Рис. 3. Пересечение «кривых неопределенности»

В качестве оптимизируемых могут выступать параметры модели ионосферы, связанные с распределением коэффициента преломления среды в пространстве. К таким параметрам, в зависимости от выбранной модели, относят количество локальных максимумов концентрации заряженных и нейтральных частиц n , высоты максимумов h_i , значения критических частот слоев f_{ki} , значения полутолщины слоев y_{mi} , значения частоты соударений заряженных и нейтральных частиц на различной высоте ν_i .

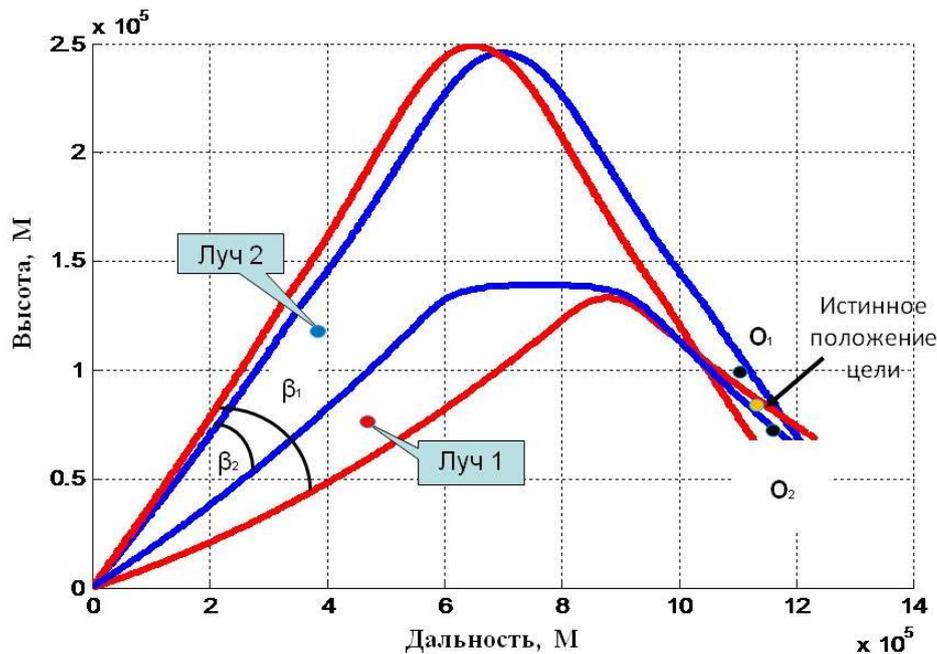


Рис. 4. Определение истинных координат цели

Выполнение процесса измерений завершается формированием вектора координат цели и вектора состояния модели канала, содержащего результаты ее коррекции, полученные в ходе решения оптимизационной задачи (рис. 4). В дальнейшем эти вектора могут использоваться для завязки траектории наблюдаемого объекта.

Выводы

Таким образом, в статье предложен алгоритм обнаружения и определения координат объекта, реализуемый на основе двулучевого метода ЗГ РЛ, отличающегося от известных подходов более высокой точностью получаемых результатов измерений. Метод позволяет определять пространственные координаты объекта как место пересечения траекторий двух рабочих лучей, лежащих в общей меридиональной плоскости, которая проходит через точку стояния РЛС и точку расположения объекта. Реализация алгоритма в ЗГ РЛ станциях позволит не только с высокой точностью определять местоположение одиночных объектов, но и послужит основой для синтеза алгоритмов селекции групповых целей и завязки их траекторий.

Литература

1. Алешкин А. П., Артюшкин А. Б., Мысливцев Т. О., Негробов В. В. Двулучевой метод загоризонтной радиолокации // Сборник трудов 17 Международной научно-технической конференции «Радио и связь». 2011. Том 3. С. 1819-1825.
2. Алешкин А. П., Артюшкин А. Б., Балашов В. М. Применение оптимизационных процедур для повышения эффективности метода двулучевой загоризонтной радиолокации // Радиопромышленность. 2015. № 2. С. 21-27.

References

1. Aleshkin A. P., Artjushkin A. B., Myslivecev T. O., Negrobov V. V. Two-beam method of over-the-horizon radar. *Proceedings of the 17 International scientific and technical conference "Radio and communication"*, 2011, vol. 3, pp. 1819-1825 (in Russian).
2. Aleshkin A. P., Artushkin A. B., Balashov V. M. Application of optimization procedures to improve the efficiency of the method of two-beam scanning radar. *Radio industry*, 2015, vol. 2, pp. 21-27 (in Russian).

Статья поступила 27 марта 2017 г.

Информация об авторах

Алешкин Андрей Петрович – доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры передающих, антенно-фидерных устройств и средств Системы единого времени. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: радиолокация, антенные системы. E-mail: a_aleshkin@mail.ru

Артюшкин Андрей Борисович – кандидат технических наук. Доцент кафедры телеметрических систем, комплексной обработки и защиты информации. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: радиолокация, системы связи. E-mail: kaman95@mail.ru

Дуников Артём Сергеевич – кандидат технических наук. Начальник лаборатории кафедры телеметрических систем, комплексной обработки и защиты информации. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: телеметрические системы, системы связи. E-mail: artem.sever1@yandex.ru

Никифоров Сергей Валерьевич – кандидат технических наук. Преподаватель кафедры передающих, антенно-фидерных устройств и средств систем единого времени. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: телеметрические системы, системы связи. E-mail: Uncleserega@yandex.ru

Адрес: 197198, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская 13.

Algorithm of Detection and Determining Coordinates of Object for the Over-the-Horizon Radar Based on the Two-Beam Scanning Method

A. P. Aleshkin, A. B. Artjushkin, A. S. Dunikov, S. V. Nikiforov

Relevance. *Over-the-horizon radars are improving so means of objects detecting large distance for radars should be also developed. However, the research in detecting and determining object coordinates has not been finished yet. Therefore, the design of algorithm for detecting and determining the object coordinates by over-the-horizon radars is a topical area of research. The aim of this paper is to develop the algorithm for detecting and determining object coordinates on the basis of the two-beam scanning method. Methods used.* The theory of geometric optics and theory of radar signals propagation and the two-beam scanning method are used as a basis for the algorithm for detecting and determining the object coordinates by over-

the-horizon radars. Novelty. The novelty of the algorithm is that it takes into account the two-beam scanning method and the optimization proceedings of determining the object coordinates. Results. The result of the research using the algorithm proves that its use makes possible to improve the accuracy of determining object position. Practical significance. The algorithm can be application to a large number of over-the-horizon radars. The algorithm presented in the paper can be applied to improve software of the operating over-the-horizon radar stations.

Key words: the over-horizon radar, mathematical model of ionosphere, object coordinates, body of errors, signal detection.

Information about Authors

Andrei Petrovich Aleshkin – Dr. habil. of Engineering Sciences, Full Professor. The Professor of the Department of Acquisition and Processing Information. Mozhaysky Military Space Academy. Field of research: information monitoring; data acquisition. E-mail: a_aleshkin@mail.ru

Andrej Borisovich Artjushkin – Ph.D. of Engineering Sciences. Associate Professor at the Department of telemetry systems, integrated and information processing. Mozhaysky Military Space Academy. Field of research: information monitoring; data acquisition. E-mail: kaman95@mail.ru

Artem Sergeevich Dunikov – Ph.D. of Engineering Sciences. Associate Professor at the Department of telemetry systems, integrated and information processing. Mozhaysky Military Space Academy. Field of research: information monitoring; data acquisition. E-mail: artem.sever1@yandex.ru

Sergej Valerevich Nikiforov – Ph.D. of Engineering Sciences. Associate Professor at the Department of telemetry systems, integrated and information processing. Mozhaysky Military Space Academy. Field of research: information monitoring; data acquisition. E-mail: Uncleserega@yandex.ru

Address: Russia, 197198, Saint Petersburg, Zhdanovskaya ulica, 13.

УДК 62–50:519.7/8

Полиинтервалы в задачах оптимизации неопределенных систем

Левин В.И.

Актуальность. В последние десятилетия в гражданской и военных сферах все чаще встречаются технологии, основанные на новых подходах к описанию неопределенности. Эти технологии широко применяются в технике, экономике, социальной сфере. Для их поддержки необходимы новые математические модели и методы. В связи с этим данная статья, посвященная разработке новой модели неопределенности (полиинтервал) и математических методов ее изучения, применительно к решению задач оптимизации в условиях неопределенности, является актуальной.

Цель статьи заключается в детальной разработке новой математической модели неопределенности – полиинтервала, являющегося последовательностью конечного числа интервалов неопределенности, с целью оптимизации разнообразных систем с полиинтервальными параметрами. **Метод.** Для достижения поставленной цели предложено распространить на изучение оптимальных операций над полиинтервалами известный в интервальной математике метод введения операций над интервалами в виде теоретико-множественного обобщения соответствующих операций над вещественными числами. **Новизна** работы заключается в предложенной новой математической модели неопределенности систем в виде полиинтервалов, совместно с математическим аппаратом, позволяющим выполнять оптимальные операции над полиинтервалами и тем самым дающим возможность решать задачи оптимизации систем с полиинтервальными параметрами. **Результат.** В статье детально разработана новая математическая модель неопределенности – полиинтервал. Определены оптимальные операции (\max , \min) над полиинтервалами, выведены правила их выполнения. Установлены необходимые и достаточные условия существования этих операций, т.е. условия сравнимости полиинтервалов. Дан пример использования полученных результатов для принятия оптимального решения.

Ключевые слова: полиинтервалы, сравнение полиинтервалов, максимальный (минимальный) полиинтервал.

Введение

В период Второй мировой войны появилось много новых технологий: обнаружение воздушных целей с помощью радаров, управление огнем зенитной артиллерии, шифровка и дешифровка информации в системах связи и т.д. Все эти технологии были связаны с исследованием неопределенности и использовали соответствующие математические методы, главным образом, теорию вероятностей. После войны эти исследования были продолжены и распространены на гражданскую сферу – технику, экономику, социум. При этом под неопределенностью стали понимать не только случайность возможных исходов, но и их неединственность или незнание, дрейф переменных, семантическую неопределенность целей, многокритериальность при принятии решений, недоопределенность модели или структуры изучаемой системы и т.д.

Библиографическая ссылка на статью:

Левин В.И. Полиинтервалы в задачах оптимизации неопределенных систем // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 49–59. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/05-Levin.pdf>

Reference for citation:

Levin V. I. Polyintervals in Problems of Optimization of Indeterminate Systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 49–59. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/05-Levin.pdf> (in Russian).

Эти новые подходы к описанию неопределенности систем привели к созданию новых математических методов их изучения: теория нечетких множеств [1], многозначная и непрерывная логика [2], теория сверхслучайных процессов [3] и т.д. Одним из популярных методов стала также интервальная математика, изучающая величины, определяемые с точностью до интервалов возможных значений [4, 5]. Однако одиночные интервалы, изучаемые в интервальной математике, не охватывают всех практических ситуаций. Например, неопределенный период времени, в течение которого возможно проведение некоторой военной операции, может содержать несколько последовательных временных интервалов. Эти новые неопределенные объекты, имеющие вид последовательностей интервалов неопределенности, были введены В.И. Левиным в работе [6] и названы полиинтервалами. Полиинтервалы являются расширением интервальной модели неопределенности систем. В работе [6] было построено исчисление полиинтервалов, основанное на операциях над полиинтервалами, аналогичных операциям над интервалами в интервальной математике. Этими операциями являются сложение, вычитание, умножение и деление. Данная статья посвящена построению и исследованию другой важной операции над полиинтервалами – сравнению. Эта операция вводится на основе теории сравнения интервалов [7] и может быть использована для оптимизации полиинтервальных величин и функций.

1. Постановка задачи

Базой для исчисления полиинтервалов [6] служит исчисление интервалов, называемое иначе интервальной математикой [4, 5]. Интервал вводится как множество всех возможных значений неполностью определенной величины \tilde{a} , задаваемой лишь ее нижней a_1 и верхней a_2 границами. Формально, величину \tilde{a} можно записать в виде следующего числового множества – ограниченного интервала неопределенности

$$\tilde{a} \equiv [a_1, a_2] = \{a \mid a_1 \leq a \leq a_2\}. \quad (1)$$

Согласно (1) неизвестное истинное значение неопределенной величины \tilde{a} достоверно лежит в пределах интервала $[a_1, a_2]$, не выходя за его границы a_1 и a_2 . При этом все значения величины \tilde{a} в пределах указанного интервала считаются равновероятными в том смысле, что нет никаких оснований предпочитать одно значение другому. Понятие равновероятности здесь не означает задание равномерного вероятностного или какого-либо иного равномерного распределения величины \tilde{a} внутри указанного интервала. Над интервалами вида (1) вводятся алгебраические операции, обобщающие соответствующие операции над числами. Для этого используется теоретико-множественная конструкция

$$\tilde{a} \circ \tilde{b} = \{a \bullet b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}, \quad \circ \tilde{a} = \{\bullet a \mid a \in \tilde{a}\}. \quad (2)$$

Согласно (2), любая операция над интервалами \circ определяется на базе соответствующей операции над точными числами \bullet , при условии, что конкретные значения этих чисел пробегают все возможные значения из

соответствующих интервалов. Из определения (2) следуют простые правила выполнения операций над интервалами:

$$\begin{aligned} [a_1, a_2] + [b_1, b_2] &= [a_1 + b_1, a_2 + b_2]; \\ [a_1, a_2] - [b_1, b_2] &= [a_1 - b_2, a_2 - b_1]; \\ k \cdot [a_1, a_2] &= \begin{cases} [ka_1, ka_2], & k > 0, \\ [ka_2, ka_1], & k < 0; \end{cases} \\ [a_1, a_2] \cdot [b_1, b_2] &= [\min_{i,j}(a_i \cdot b_j), \max_{i,j}(a_i \cdot b_j)]; \\ [a_1, a_2] / [b_1, b_2] &= [a_1, a_2] \cdot [1/b_2, 1/b_1], \text{ при } 0 \notin [b_1, b_2]. \end{aligned} \quad (3)$$

Развивая понятие интервала, в [6] было введено понятие полиинтервала как последовательности нескольких непересекающихся одиночных интервалов

$$\tilde{A} = (\tilde{a}, \tilde{b}, \dots, \tilde{d}), \quad (4)$$

где $\tilde{a}, \tilde{b}, \dots, \tilde{d}$ – одиночные интервалы вида (1).

В (4) считается, что каждый следующий одиночный интервал сдвинут вправо от предыдущего и не пересекается с ним. Операции над полиинтервалами были введены в [6] аналогично операциям над интервалами с помощью теоретико-множественной конструкции типа (2)

$$\tilde{A} \circ \tilde{B} = \{a \bullet b \mid a \in \tilde{A}, b \in \tilde{B}\}, \quad \circ \tilde{A} = \{\bullet a \mid a \in \tilde{A}\}. \quad (5)$$

Здесь \tilde{A} – полиинтервал вида (4), \tilde{B} – другой полиинтервал того же вида, но с другими составляющими его одиночными интервалами. На базе определения (5) операций над полиинтервалами в работе [6] были выведены правила конструктивного выполнения следующих алгебраических операций с полиинтервалами: сложение, вычитание, умножение полиинтервала на число, умножение и деление полиинтервалов. Задача настоящей статьи заключается в том, чтобы на базе того же определения вывести правило конструктивного выполнения еще одной, весьма важной операции над полиинтервалами – определение максимального и минимального из двух полиинтервалов. Важность этой операции связана с тем, что к ее выполнению (равно как и к выполнению аналогичной операции над одиночными интервалами) сводятся многие классы задач оптимального планирования разнообразных систем и процессов, функционирующих в условиях неопределенности [8]. На базе этой операции также появляется возможность сравнения интервалов и их упорядочения по отношениям «больше», «меньше» и «равно».

2. Решение задачи

Следуя [6], будем представлять полиинтервалы (4) в теоретико-множественных терминах следующим образом:

$$\tilde{A} = \tilde{a} \cup \tilde{b} \cup \dots \cup \tilde{d}. \quad (6)$$

Пусть заданы два полиинтервала \tilde{A} и \tilde{B} следующего вида

$$\tilde{A} = \bigcup_{i=1}^m \tilde{a}^i, \quad \tilde{B} = \bigcup_{j=1}^n \tilde{b}^j, \quad (7)$$

где $\tilde{a}^i = [a_1^i, a_2^i], i = \overline{1, m}$ и $\tilde{b}^j = [b_1^j, b_2^j], j = \overline{1, n}$ – одиночные интервалы, в совокупности составляющие \tilde{A} и \tilde{B} соответственно. Требуется определить максимальный и минимальный из этих интервалов. Другими словами, требуется выполнить операции

$$\tilde{C} = \tilde{A} \vee \tilde{B}, \tilde{D} = \tilde{A} \wedge \tilde{B}, \quad (8)$$

где \vee – операция взятия максимума, а \wedge – операция взятия минимума, а \tilde{C} и \tilde{D} – максимальный и минимальный интервалы. Эти две операции мы определим формально, как и другие операции над полиинтервалами, введенные в [6] (сложение, вычитание, умножение), при помощи теоретико-множественной конструкции (5). Таким образом, максимум и минимум двух полиинтервалов определяются в виде

$$\tilde{C} = \tilde{A} \vee \tilde{B} = \{a \vee b \mid a \in \tilde{A}, b \in \tilde{B}\}, \tilde{D} = \tilde{A} \wedge \tilde{B} = \{a \wedge b \mid a \in \tilde{A}, b \in \tilde{B}\}. \quad (9)$$

Т.е. операции взятия максимума (минимума) двух полиинтервалов определяются на основе соответствующих операций над двумя точно заданными величинами при условии, что конкретные значения этих величин пробегают все возможные значения из соответствующих полиинтервалов.

Исходя из определений операции взятия максимума и минимума двух полиинтервалов (9), нетрудно установить формулу для конструктивного выполнения этих операций. Для этого используем следующую базовую формулу, позволяющую выполнить произвольную операцию \circ над этими полиинтервалами \tilde{A} и \tilde{B} в виде суперпозиции этой операции над одиночными интервалами \tilde{a}^i, \tilde{b}^j , составляющими \tilde{A} и \tilde{B} [6]

$$\tilde{A} \circ \tilde{B} = \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{j=1}^n (\tilde{a}^i \circ \tilde{b}^j)$$

или в развернутом виде

$$\left(\bigcup_{i=1}^m \tilde{a}^i \right) \circ \left(\bigcup_{j=1}^n \tilde{b}^j \right) = \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{j=1}^n (\tilde{a}^i \circ \tilde{b}^j) \quad (10)$$

Подставляя теперь в формулу (10) вместо \circ конкретные операции \vee и \wedge , получим необходимые формулы для конструктивного выполнения операций взятия максимума и минимума двух полиинтервалов

$$\tilde{A} \vee \tilde{B} = \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{j=1}^n (\tilde{a}^i \vee \tilde{b}^j),$$

или в развернутом виде

$$\left(\bigcup_{i=1}^m \tilde{a}^i \right) \vee \left(\bigcup_{j=1}^n \tilde{b}^j \right) = \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{j=1}^n (\tilde{a}^i \vee \tilde{b}^j). \quad (11)$$

$$\tilde{A} \wedge \tilde{B} = \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{j=1}^n (\tilde{a}^i \wedge \tilde{b}^j),$$

или в развернутом виде

$$\left(\bigcup_{i=1}^m \tilde{a}^i \right) \wedge \left(\bigcup_{j=1}^n \tilde{b}^j \right) = \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{j=1}^n (\tilde{a}^i \wedge \tilde{b}^j). \quad (12)$$

Формулы (11), (12) сводят вычисление максимума и минимума двух полиинтервалов \tilde{A} и \tilde{B} к вычислению максимумов и минимумов всех пар одиночных интервалов $(\tilde{a}^i, \tilde{b}^j)$, составляющих \tilde{A} и \tilde{B} . Однако непосредственное использование этих формул для вычисления максимального (минимального) из полиинтервалов \tilde{A} и \tilde{B} не всегда удобно, так как, во-первых, это требует вычисление максимума (минимума) для каждой пары одиночных интервалов $(\tilde{a}^i, \tilde{b}^j)$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$, а, во-вторых, не для каждой пары полиинтервалов \tilde{A} и \tilde{B} существует максимальный (минимальный) полиинтервал. Поэтому гораздо практичнее сначала установить существование максимального (минимального) из двух заданных полиинтервалов, используя подходящий критерий существования, и только после этого устанавливать максимальный и минимальный полиинтервал. Простой критерий существования максимального (минимального) из двух заданных полиинтервалов дает нижеследующая теорема. Она же сразу устанавливает, какой из полиинтервалов является максимальным, а какой – минимальный.

В работе [7] были введены отношения между интервалами на основе теории множеств. При этом для любых двух интервалов $\tilde{a} = [a_1, a_2]$, $\tilde{b} = [b_1, b_2]$ по определению принимается:

$$\tilde{a} = \tilde{b}, \text{ если } a_1 = b_1, a_2 = b_2, \quad (13)$$

$$\tilde{a} \geq \tilde{b}, \text{ если } \tilde{a} \vee \tilde{b} = \tilde{a}, \tilde{a} \wedge \tilde{b} = \tilde{b}, \quad (14)$$

$$\tilde{a} \text{ не сравнимо с } \tilde{b}, \text{ если } \tilde{a} \neq \tilde{b}, \tilde{a} \not\geq \tilde{b}, \tilde{b} \not\geq \tilde{a}, \quad (15)$$

На основании определений (13)–(15) было показано [7]:

1) для того, чтобы интервалы \tilde{a} и \tilde{b} находились в отношении $\tilde{a} \geq \tilde{b}$, необходимо и достаточно, чтобы выполнялись условия $a_1 \geq b_1, a_2 \geq b_2$;

2) для того, чтобы интервалы \tilde{a} и \tilde{b} были несравнимы, необходимо и достаточно, чтобы выполнялись условия $a_1 < b_1, a_2 > b_2$ или $b_1 < a_1, b_2 > a_2$.

Другими словами, для выполнения отношения $\tilde{a} \geq \tilde{b}$ требуется, чтобы интервал \tilde{a} был сдвинут относительно интервала \tilde{b} вправо обеими своими границами, а для несравнимости этих интервалов требуется, чтобы один из них (безразлично какой) полностью накрывал другой.

Отношения между полиинтервалами мы введем теперь аналогично отношению между интервалами. Именно, для любых двух полиинтервалов \tilde{A} и \tilde{B} вида (7) по определению принимаем

$$\tilde{A} = \tilde{B}, \text{ если } m = n, \tilde{a}^1 = \tilde{b}^1, \tilde{a}^2 = \tilde{b}^2, \dots, \tilde{a}^m = \tilde{b}^m, \quad (16)$$

$$\tilde{A} \geq \tilde{B}, \text{ если } \tilde{A} \vee \tilde{B} = \tilde{A}, \tilde{A} \wedge \tilde{B} = \tilde{B}, \quad (17)$$

$$\tilde{A} \text{ не сравнимо с } \tilde{B}, \text{ если } \tilde{A} \neq \tilde{B}, \tilde{A} \not\geq \tilde{B}, \tilde{B} \not\geq \tilde{A}. \quad (18)$$

Теорема 1. Для того, чтобы два полиинтервала \tilde{A} и \tilde{B} вида (7) были сравнимы и находились в отношении $\tilde{A} \geq \tilde{B}$, необходимо и достаточно, чтобы

входящий в состав \tilde{A} минимальный одиночный интервал \tilde{a}^1 и входящий в состав \tilde{B} максимальный одиночный интервал \tilde{b}^n находились в отношении $\tilde{a}^1 \geq \tilde{b}^n$.

Доказательство. Достаточность. Пусть выполнено условие $\tilde{a}^1 \geq \tilde{b}^n$. Тогда, по определению полиинтервалов, для всех i, j справедливо неравенство $\tilde{a}^i \geq \tilde{b}^j$. Отсюда ясно, что для всех i, j имеем $\tilde{a}^i \vee \tilde{b}^j = \tilde{a}^i$, $\tilde{a}^i \wedge \tilde{b}^j = \tilde{b}^j$. Таким образом, по формулам (11), (12) получаем

$$\tilde{A} \vee \tilde{B} = \bigcup_{i=1}^m \tilde{a}^i = \tilde{A}, \quad \tilde{A} \wedge \tilde{B} = \bigcup_{j=1}^n \tilde{b}^j = \tilde{B}.$$

Два последних соотношения, согласно определению (17) означают, что полиинтервалы \tilde{A} и \tilde{B} сравнимы и находятся в отношении $\tilde{A} \geq \tilde{B}$. Что и требовалось доказать.

Необходимость. Пусть два полиинтервала \tilde{A} и \tilde{B} сравнимы и находятся в отношении $\tilde{A} \geq \tilde{B}$. Тогда, в соответствии с определением этого отношения (17), верны следующие два равенства $\tilde{A} \vee \tilde{B} = \tilde{A}$, $\tilde{A} \wedge \tilde{B} = \tilde{B}$. Выражая в них операции \vee и \wedge по формулам (11), (12), а полиинтервалы \tilde{A} , \tilde{B} по формулам (7), перепишем их в виде

$$\bigcup_{i=1}^m \bigcup_{j=1}^n (\tilde{a}^i \vee \tilde{b}^j) = \bigcup_{i=1}^m \tilde{a}^i, \quad \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{j=1}^n (\tilde{a}^i \wedge \tilde{b}^j) = \bigcup_{j=1}^n \tilde{b}^j.$$

В первом выписанном равенстве правая часть зависит только от интервалов \tilde{a}^i , $i = \overline{1, m}$, поэтому, чтобы имело место равенство, его левая часть также должна зависеть только от интервалов \tilde{a}^i , $i = \overline{1, m}$, а это возможно только при выполнении условия $\tilde{a}^i \geq \tilde{b}^j$ для всех i, j . Аналогично выводится выполнение этого условия из второго выписанного равенства. Выполнение данного условия означает, что любой одиночный интервал \tilde{a}^i , входящий в состав полиинтервала \tilde{A} , находится в отношении \geq к любому одиночному интервалу \tilde{b}^j , входящему в состав полиинтервала \tilde{B} . В частности, справедливо отношение $\tilde{a}^1 \geq \tilde{b}^n$, что и требовалось доказать.

Формулы (11), (12) дают нам конструктивные правила выделения большего и меньшего из двух имеющихся полиинтервалов для тех случаев, когда они существуют. Теорема 1 дает простое правило проверки существования большего и меньшего из двух имеющихся полиинтервалов. Теперь алгоритм решения различных задач исследования систем с полиинтервальными характеристиками, требующих сравнения полиинтервалов, можно представить следующим образом.

Шаг 1. Построение абстрактной математической модели, представляющей решение задачи как попарное сравнение некоторого числа полиинтервалов, являющихся числовыми значениями характеристик изучаемой системы в условиях неопределенности, с целью последующего выделения полиинтервалов, являющихся решением задачи.

Шаг 2. Анализ подлежащих сравнению пар полиинтервалов, с целью выявления пар сравнимых и несравнимых полиинтервалов. Анализ проводится с помощью условий (16)–(18). При этом пары, удовлетворяющие условию (16) (равные полиинтервалы) или условию (17) (полиинтервалы, находящиеся в отношении \geq), относим к парам сравнимых полиинтервалов, а пары, удовлетворяющие условию (18) – к парам несравнимых полиинтервалов.

Шаг 3. Построение структурной математической модели решения задачи в виде частично ориентированного графа, с использованием шагов 1, 2. Вершинами графа являются полиинтервалы, выделенные на шаге 1, его ребрами – линии, соединяющие вершины равных полиинтервалов, его дугами (ориентированными ребрами) – линии, соединяющие вершины неравных полиинтервалов в направлении от меньших полиинтервалов к большим. При этом вершины, отвечающие несравнимым полиинтервалам, не соединяются никакими линиями. При построении граф-модели используются пары равных полиинтервалов, пары полиинтервалов с отношением \geq и пары несравнимых полиинтервалов, полученные на шаге 2.

Шаг 4. Вычисление по структурной граф-модели вершины, соответствующей полиинтервалу, представляющему собой решение задачи. Чаще всего в качестве такого полиинтервала берется экстремальный – максимальный или минимальный полиинтервал. Возможны и другие варианты.

Пример. При поступлении на службу работник выбирает между фирмами *A*, *B* и *C*. Фирма *A* предлагает ему месячную зарплату (в зависимости от заказов фирмы) в размере 10000 ± 2000 руб. или 15000 ± 2000 руб., аналогично фирма *B* – в размере 5000 ± 1000 руб. или 8000 ± 1000 руб., а фирма *C* – в размере 6000 ± 1000 руб. или 9000 ± 1000 руб. Работнику нужно выбрать фирму с максимальной зарплатой.

Решение. Шаг 1. В фирме *A* первую заработную плату работника можно представить в виде интервала $[a_1^1, a_2^1] = [8000, 12000]$, 2-ю – как интервал $[a_1^2, a_2^2] = [13000, 17000]$. Аналогично, в фирме *B* 1-ю зарплату работника можно представить в виде интервала $[b_1^1, b_2^1] = [4000, 6000]$, а 2-ю – в виде интервала $[b_1^2, b_2^2] = [7000, 9000]$, а в фирме *C* 1-ю зарплату можно представить в виде интервала $[c_1^1, c_2^1] = [5000, 7000]$, а 2-ю – в виде интервала $[c_1^2, c_2^2] = [8000, 10000]$. Итак, месячную зарплату работника в фирмах *A*, *B* и *C* можно представить соответственно следующими полиинтервалами

$$\tilde{A} = \bigcup_{i=1}^2 [a_1^i, a_2^i] = [8000, 12000] \cup [13000, 17000],$$

$$\tilde{B} = \bigcup_{j=1}^2 [b_1^j, b_2^j] = [4000, 6000] \cup [7000, 9000],$$

$$\tilde{C} = \bigcup_{j=1}^2 [c_1^j, c_2^j] = [5000, 7000] \cup [8000, 10000].$$

Абстрактная математическая модель решения задачи представляет собой совокупность полиинтервалов \tilde{A} , \tilde{B} и \tilde{C} , попарное сравнение которых должно на следующих шагах выделить максимальный полиинтервал, являющийся решением задачи.

Шаг 2. Попарно сравниваем полиинтервалы \tilde{A} , \tilde{B} , \tilde{C} с помощью условий (16)–(18) и теоремы 1. Пара (\tilde{A}, \tilde{B}) . Сравнив полиинтервалы \tilde{A} , \tilde{B} с помощью теоремы 1, находим $a^1 = [8000, 12000]$, $b^2 = [7000, 9000]$, здесь $8000 > 7000$, $12000 > 9000$, и поэтому, согласно (14), $a^1 \geq b^2$, откуда по теореме 1 $\tilde{A} \geq \tilde{B}$.

Пара (\tilde{A}, \tilde{C}) . С помощью тех же условий находим $a^1 = [8000, 12000]$, $c^2 = [8000, 10000]$, здесь $8000 \geq 8000$, $12000 > 10000$ и потому, согласно (14), $a^1 \geq c^2$, откуда по теореме 1 $\tilde{A} \geq \tilde{C}$.

Пара (\tilde{B}, \tilde{C}) . С помощью тех же условий находим $b^1 = [4000, 6000]$, $c^2 = [8000, 10000]$, здесь $4000 < 8000$, $6000 > 10000$ и потому $b^1 \not\geq c^2$, откуда по теореме 1 $\tilde{B} \not\geq \tilde{C}$. Аналогично имеем $c^1 = [5000, 7000]$, $b^2 = [7000, 9000]$, где $5000 < 7000$, $7000 < 9000$, поэтому $c^1 \not\geq b^2$, откуда по теореме 1 $\tilde{C} \not\geq \tilde{B}$. С другой стороны, согласно условию (16), $\tilde{B} \neq \tilde{C}$. Таким образом, в соответствии с (18) полиинтервалы \tilde{B} , \tilde{C} не сравнимы.

Шаг 3. По результатам шагов 1, 2 получаем структурно-математическую модель решения задачи в виде частично ориентированного графа (рис.1). Вершины этого графа – полиинтервалы \tilde{A} , \tilde{B} , \tilde{C} , его дуги ориентированы в направлении от меньших вершин \tilde{B} , \tilde{C} к большей вершине \tilde{A} , а его ребро не ориентировано и соединяет несравнимые вершины (полиинтервалы) \tilde{B} , \tilde{C} .

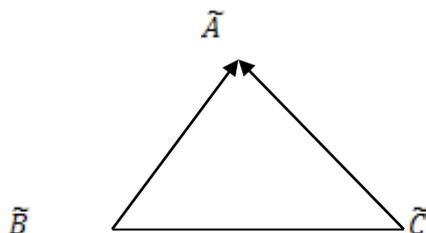


Рис. 1

Шаг 4. По структурной граф-модели (рис. 1) находим вершину, соответствующую максимальному полиинтервалу. Непосредственно из рис. 1 видно, что этой вершиной является \tilde{A} , т.к. соответствующий полиинтервал \tilde{A} больше других полиинтервалов \tilde{B} и \tilde{C} . Обратим внимание, что оба полиинтервала, не являющиеся максимальными – \tilde{B} и \tilde{C} – не сравнимы между собой, но это не повлияло на решение задачи. Это решение – выбор работником, из трех предложивших ему работу фирм A, B, C , фирмы A , как предложившей максимальную зарплату.

3. Обсуждение

Как показано в статье, дальнейшее развитие известной операции сравнения интервалов неопределенности, с выделением максимального и минимального интервала [7], приводит к новой операции сравнения полиинтервалов, с выделением максимального и минимального полиинтервала. Таким образом, и для такой более сложной по сравнению с интервалом модели неопределенности, как полиинтервал, оказывается возможным сравнивать полиинтервалы и выбирать максимальный (минимальный) из них. Это открывает возможность решения задач оптимизации для неопределенных систем и процессов с полиинтервальными параметрами. Полиинтервальная модель неопределенности является более сложной, чем интервальная. Она встречается достаточно часто в военном деле, экономике, технике, социальной сфере и др. областях и поэтому заслуживает изучения и разработки. Это изучение и разработку применительно к проблеме оптимизации естественно осуществлять, используя подходы интервальной математики к оптимизации [7] и развивая их в направлении учета многоинтервальности. И здесь выявляется важный факт: сравнение двух полиинтервалов, как показывает теорема 1, сводится к сравнению их крайних интервалов, благодаря этому сложность решения проблемы оптимизации систем с полиинтервальными параметрами такая же, как и для систем с интервальными параметрами. Это делает задачи оптимизации систем с полиинтервальными параметрами реально разрешимыми.

Заключение

В настоящей статье сформулирована задача дальнейшего изучения новой модели неопределенности – полиинтервала, обобщающей известную модель неопределенности – интервал – на случай области из нескольких последовательных интервалов неопределенности. С помощью известной из интервальной математики теоретико-множественной конструкции, вводящей операции над интервалами, в том числе, операции взятия максимума (минимума), аналогичным путем введена операция взятия максимума (минимума) двух полиинтервалов. Разработана методика сведения операции взятия максимума и минимума полиинтервалов к аналогичным операциям с интервалами. С ее помощью доказана основная теорема, сводящая сравнение двух полиинтервалов, с выделением максимального и минимального из них, к сравнению двух интервалов – крайнего левого интервала одного полиинтервала и крайнего правого интервала другого. На примере из области экономики показана практическая польза разработанной теории и методов.

Литература

1. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 176 с.
2. Левин В. И. Непрерывная логика. – Пенза: ПензГТА, 2008. – 496 с.
3. Горбань И. И. Феномен статистической устойчивости. – Киев: Наукова Думка, 2014. – 370 с.

4. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. – М: Мир, 1987. – 370 с.
5. Левин В. И. Интервальная математика и исследование систем в условиях неопределенности. – Пенза: Изд-во Пензенского технологического ин-та, 1998. – 55 с.
6. Левин В. И. Полиинтервалы, их исчисление и применение // Системы управления, связи и безопасности. 2016. №3. С. 239-246. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-03/07-Levin.pdf> (дата обращения 7.03.2017).
7. Левин В. И. Методы оптимизации систем в условиях интервальной неопределенности параметров // Информационные технологии. – 2012. – № 4. – С. 52–59.
8. Вошинин А. П., Сотиров Г. Р. Оптимизация в условиях неопределенности. М.: МЭИ, София: Техника, 1989. – 226 с.

References

1. Zadeh L. A. *The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning*. Moscow, Mir, 1976. 176 p. (in Russian).
2. Levin V. I. *Nepřeryvnaya logika* [Continuous Logic]. Penza, PenzGTA, 2008. 496 p. (in Russian).
3. Gorban I. I. *Fenomen statisticheskoyj ustoyjchivosti* [Phenomena of Statistical Stability]. Kiev, Naukova Dumka, 2014. 370 p. (in Russian).
4. Alefeld G., Herzberger Ju. *Einführung in die Intervallrechnung* [Introduction to the Interval Computations]. Zürich, B.I.-Wissenschaftsverlag, 1974, 398 p. (in German).
5. Levin V. I. *Intervalnaya matematika i issledovanie sistem v usloviyah neopredelennosti* [Interval Mathematics and Research of Systems in Condition of Uncertainty]. Penza, PenzGTA, 1998. 55 p. (in Russian).
6. Levin V. I. Polyintervals: Calculus and Applications. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 3, pp. 239–246. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-03/07-Levin.pdf> (accessed 7 March 2017) (in Russian).
7. Levin V. I. *Metody optimizacii sistem v usloviyah intervalnoy neopredelennosti parametrov* [Methods of System Optimization with Interval Uncertainty]. *Informacionnye Tehnologii*, 2012, no. 4, pp. 52–59 (in Russian).
8. Voschinin A. P., Sotirov G. R. *Optimizaciya v usloviyah neopredelennosti* [Optimization in Conditions of Uncertainty]. Moscow, MEI, Sofiya, Tehnika, 1989. 226 p. (in Russian).

Информация об авторе

Левин Виталий Ильич – доктор технических наук, профессор, PhD, Full Professor. Заслуженный деятель науки РФ. Пензенский государственный технологический университет. Область научных интересов: логика; математическое моделирование в технике, экономике, социологии, истории; принятие решений; оптимизация; теория автоматов; теория надежности; распознавание; история науки; проблемы образования. E-mail: vilevin@mail.ru
Адрес: 440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11.

Polyintervals in Problems of Optimization of Indeterminate Systems

Levin V. I.

Relevance. In recent decades, in the civil and military spheres, new technologies associated with the study of uncertainty are increasingly encountered. These technologies are widely used in engineering, economics, social sphere. To support them, new mathematical models and methods are needed. In this regard, this article, devoted to the development of a new model of uncertainty (poly-interval) and mathematical methods for its study, as applied to solving optimization problems under uncertainty, is topical. **The purpose** of the article is to detailed development of a new mathematical model of uncertainty – a polyinterval, which is a sequence of a finite number of uncertainty intervals, in order to optimize various systems with polyinterval parameters. **Method.** To achieve this goal, it is proposed to extend the method of introducing operations on intervals in the form of a set-theoretic generalization of the corresponding operations over real numbers, known in interval mathematics, to the study of optimal operations over polyintervals. **The novelty** of the work lies in the proposed new mathematical model of the uncertainty of systems in the form of polyintervals, in conjunction with a mathematical apparatus that allows performing optimal operations on polyintervals and thereby making it possible to solve problems of optimizing systems with polyinterval parameters. **Result.** The article elaborates a new mathematical model of uncertainty – polyinterval. The optimal operations (max, min) over the polyintervals have been determined, and the rules for their implementation have been derived. Necessary and sufficient conditions for the existence of these operations are established, i.e. conditions for the comparability of polyintervals. An example of using the results obtained for making optimal decisions is given.

Keywords: polyintervals, comparison of polyintervals, maximal (minimal) polyinterval.

Information about Author

Vitaly Ilyich Levin – the Doctor of Engineering Sciences, Professor, PhD, Full Professor. Honored worker of science of the Russian Federation. Penza State Technological University. Field of Research: logic; mathematical modeling in technics, economy, sociology, history; decision-making; optimization; automata theory; theory of reliability; history of science; problems of education. E-mail: vilevin@mail.ru

Address: 440039, Russia, Penza, pr. Baydukova / Gagarin st., 1a/11.

УДК 623.624

**Динамическая модель
двунаправленного информационного конфликта
с учетом возможностей сторон по наблюдению, захвату
и блокировке ресурса**

Макаренко С. И.

Постановка задачи: совершенствование средств и комплексов деструктивного преднамеренного воздействия на информационные системы требует развития научно-методического аппарата моделирования эффектов от таких воздействий. В настоящее время недостаточно изученным являются динамические и переходные процессы при развитии информационного конфликта. Кроме того, в ряде уже опубликованных работ указывается на то, что в ходе конфликта существует возможность в реальном масштабе времени захватывать и перераспределять информационный ресурс в свою пользу. Однако данные процессы являются до сих пор не исследованными. С учетом этого, анализ динамических процессов при развитии конфликта информационных систем с учетом их возможностей по наблюдению, захвату и блокировке информационного ресурса противника является актуальным направлением исследований. **Целью работы** является разработка динамической модели двунаправленного информационного конфликта с учетом возможностей сторон по наблюдению, захвату и блокировке ресурса. При этом в качестве конфликтующих систем выступают интегрированные системы, имеющие в своем составе: подсистему наблюдения, подсистему захвата и блокировки информационного ресурса системы противника, а также собственную информационную подсистему, которая защищается от внешнего воздействия. **Используемые методы.** В основу логических подходов к построению модели были положены известные исследования из теории популяционной динамики, которые моделируют конкуренцию и борьбу различных биологических видов в процессе их эволюции. Для построения математической модели информационного конфликта и ее исследования был использован математический аппарат теории динамических систем. Сама модель представлена в виде системы четырех нелинейных дифференциальных уравнений. **Новизна.** Новизной модели является учет в ней динамики развития информационного конфликта, а также возможностей сторон по наблюдению, захвату и блокировке информационного ресурса. **Результаты.** Итогами исследования модели являются выявленные типовые состояния конфликта, а также бифуркации конфликта – такие значения параметров конфликтующих сторон, при которых качественно меняются траектории развития конфликта и возможности выигрыша той или иной стороны. На основе этих исследований были предложены сценарии действий одной из сторон по изменению ее параметров для достижения выигрыша в конфликте. Проведен подробный анализ типовых сценариев действий для одной из сторон, в интересах обоснования наиболее «сильных» параметров этой стороны и направлений их изменения для обеспечения выигрыша. **Практическая значимость.** Представленная модель информационного конфликта может быть использована для исследования широкого класса антагонистически-конфликтных взаимодействий информационно-технических систем в прикладных областях радиоэлектронной борьбы, радио- и радиотехнического мониторинга, а также информационного противоборства в технической сфере. Представленные в работе сценарии могут быть использованы для совершенствования математического обеспечения соответствующих технических комплексов в интересах обеспечения их выигрыша в подобных динамических конфликтах.

Библиографическая ссылка на статью:

Макаренко С. И. Динамическая модель двунаправленного информационного конфликта с учетом возможностей сторон по наблюдению, захвату и блокировке ресурса // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 60–97. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/06-Makarenko.pdf>

Reference for citation:

Makarenko S. I. Dynamic Model of the Bi-directional Information Conflict to Take into Account Capabilities of Monitoring, Capturing and Locking of Information Resources. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 60–97. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/06-Makarenko.pdf> (in Russian).

Ключевые слова: конфликт, динамический конфликт, информационный конфликт, информационный ресурс, радиоэлектронная борьба, радиомониторинг, радиотехнический мониторинг, информационное противоборство, информационно-техническое воздействие.

Актуальность

В настоящее время ведется формирование методологии теории информационного противоборства в технической сфере как закономерного развития и комплексирования ранее разобщенных теорий радиоэлектронной борьбы и информационной безопасности. Одним из ключевых понятий информационного противоборства является *конфликт* – специфический процесс взаимодействия двух или большего количества компонентов системы (или систем в целом), преследующих разные интересы. Если интересы взаимодействующих систем (сторон) противоположны, то говорят об антагонистическом конфликте [1]. Необходимо отметить, что для исследования процессов антагонистического взаимодействия организационно-технических систем в условиях военного конфликта, связанного с нарушением доступности, целостности и конфиденциальности информации, введено понятие «информационный конфликт».

Информационный конфликт – процесс столкновения сторон, которые с помощью аппаратно-программных и радиоэлектронных средств ведут сбор данных о состоянии, намерениях и действиях противостоящей стороны, при этом каждая из них стремится к упреждающему по отношению к противостоящей стороне решению своих задач и предпринимает определенные действия по снижению возможностей противостоящих средств и одновременном обеспечении эффективности функционирования своей системы вооружений в условиях вмешательства другой стороны. При этом информационный конфликт в общем случае декомпозируется на упорядоченную во времени совокупность отдельных локальных конфликтных противоборств, каждое из которых представляет собой конфликт строго определенных состава сторон, иерархического уровня при фиксированных и неизменных направлении и содержании действий в рамках решения задач противоборствующих сторон [1, 2].

Как показано в работе [3], для моделирования информационных конфликтов могут быть использованы различные научно-методические аппараты: теория игр; теория активных систем; теория марковских процессов; теория сетей Петри; теория автоматов; теория сложных иерархических систем и др.

Однако при использовании этих математических подходов, зачастую сложно оценить динамические характеристики процессов конфликтного взаимодействия. В связи с этим, в предыдущей работе автора [4] предложена динамическая модель информационного конфликта с обобщенным учетом динамики изменения возможностей сторон в области наблюдения и воздействия. В более ранних работах автора [5, 6] были предложены модели развития конфликта системы связи и системы радиоэлектронного подавления (РЭП) на основе математического аппарата популяционной динамики, который

ориентирован на моделирование процессов эволюционного развития биологических видов. Однако эти работы относятся к однонаправленному информационному конфликту, когда одна из сторон является нападающей, а другая – обороняющейся. Вместе с тем, как показано в работах Стародубцева Ю.И., Бухарина В. В., Семенова С. С. [7-10], в настоящее время конфликты, рассматриваемые в предметной области информационного противоборства, происходят в глобальном информационном пространстве и характеризуются тем, что все его участники имеют развитые системы мониторинга и наблюдения состояния противника, системы информационного воздействия, а также собственные защищаемые информационно-управляющие системы. Таким образом, актуальным направлением исследований является разработка моделей двунаправленного информационного конфликта противоборствующих систем с учетом того, что в каждой из этих систем существуют подсистемы наблюдения, воздействия и защищаемые информационные подсистемы. Разработка такой модели ведется на основе теории динамических систем с использованием математического аппарата дифференциальных уравнений. В основу данного исследования положено развитие более ранних работ автора [4-6].

В настоящее время известны исследования, в которых для моделирования процессов информационного противоборства используются методы теории динамических систем. К таким исследованиям стоит отнести отечественные работы: А.Н. Асоскова [11], А.Г. Алферова, Н.Н. Толстых [12-15], Г.А. Остапенко, Д.Г. Плотникова, Ю.Н. Гузева [16-19], А.Ф. Белого [20], А.В. Борзенкова [21], Г.Е. Веселова, А.А. Колесникова [22], Р.Л. Михайлова [23], Е.Н. Надеждина [24], А.П. Петрова, А.И. Маслова, Н.А. Цаплина [25], И.И. Семеновой, А.О. Мишурина [26], В.А. Шведовского, М.А. Петровой [27, 28]. Кроме того, подобные исследования ведутся и за рубежом (примером может являться работа [29]). В некоторых из этих работ авторы опираются на уже известные модели теории популяционной динамики, в которой задача моделирования конкурентной борьбы между различными биологическими видами является классической и хорошо исследованной. При разработке динамической модели, представленной в этой работе, автор также пошел путем приложения известных и многократно апробированных методов моделирования биологических видов к моделированию информационного противоборства в технической сфере. При решении задачи построения динамической модели, представленной в статье, за основу были взяты следующие работы в области популяционной динамики: А.Д. Базыкина [30], Ю.М. Саирежева, Д.О. Логофета [31], А.А. Гиммельфарба, Л.Р. Гинзбурга, Р.А. Полуэктова, Ю.А. Пых, В.А. Ратнера [32], В.В. Меншуткина [33], А.С. Братусь, А.С. Новожилова, А.П. Платонова [34], А.В. Дорошина [35], С.С. Бондарчука, В.П. Перевозкина [36], Д.И. Трубецкова [37], Е.П. Колпака [37]. При исследовании динамической модели использовались методы, представленные в работах: Э.М. Кольцовой, Ю.Д. Третьякова, Л.С. Гордеева, А.А. Вертегел [39], Н.Н. Баутина, Е.А. Леонтовича [40], Ю.С. Мануйлова, Е.А. Новикова [41].

Новизну модели определяет учет двух основных факторов. Во-первых, сложное построение противоборствующих сторон, имеющих в своем составе подсистему наблюдения, подсистему воздействия и защищаемые информационные подсистемы. Во-вторых, учет динамики развития информационного конфликта, с учетом возможностей сторон по наблюдению, захвату и блокировке информационного ресурса.

1. Постановка задачи

Введем ряд дополнительных определений, которые используются в работе, однако отсутствуют в классической теории конфликта.

Однонаправленный конфликт – конфликтное взаимодействие двух или более сторон, при котором одна из сторон проводит активные деструктивные воздействия на другую сторону, а другая сторона, в свою очередь, проводит активные или пассивные защитные действия, не связанные с контратакой противоположной стороны.

Двунаправленный конфликт – конфликтное взаимодействие двух или более сторон, при котором каждая из конфликтующих сторон проводит как активные деструктивные воздействия на другую сторону, так и активные или пассивные действия по собственной защите.

Ресурс информационной системы – количественная мера возможности выполнения информационной системой задач по получению, передаче, обработке, хранению и представлению информации в интересах системы управления более высокого уровня.

При рассмотрении вопросов конфликта радиотехнических систем, например таких, которые рассматриваются в теории радиоэлектронной борьбы, целесообразно ввести понятие радиоресурса.

Радиоресурс – ресурс, используемый радиотехническими системами для решения собственных задач, который определяется используемой системой полосой спектра электромагнитных волн, и доступностью этой полосы во временной и энергетической области. Упрощенно, объем доступного радиоресурса можно представить в виде:

$$R = F T q,$$

где: R – объем доступного радиотехнической системе радиоресурса [дБ или безразмерная величина]; F – используемая системой полоса спектра электромагнитных волн [Гц]; T – время, в течение которого используемая полоса доступна радиотехнической системе [с]; q – отношение сигнал-шум в используемой полосе электромагнитных волн [дБ или безразмерная величина].

Рассмотрим двунаправленный конфликт двух сторон, которые соответствуют информационно-управляющим метасистемам A и B . Введем допущение о том, что конфликт развивается на одном организационно-техническом уровне и объектом конфликта служит некоторый глобальный информационный ресурс R , использующийся каждой стороной для своего функционирования. Примером такого информационного ресурса на физическом уровне для систем радиосвязи, радиоэлектронной борьбы и радиомониторинга может являться радиоресурс.

Целью каждой стороны является максимизация эффективности своего функционирования $E(R) \rightarrow \max$ за счет максимизации доступного ей информационного ресурса $R \rightarrow \max$ с одновременным снижением ресурса противостоящей стороны ниже значений, достаточных для ее функционирования с заданным качеством.

Каждая конфликтующая метасистема содержит:

- 1) информационную систему, функционирующую в интересах решения задач своей метасистемы;
- 2) систему наблюдения за противником, функционирующую в интересах оценки уровня информационного ресурса, доступного противнику;
- 3) систему воздействия, реализующую два вида противодействия метасистеме противника:
 - а) захват информационного ресурса противника и использование его в своих целях;
 - б) блокировка информационного ресурса противника.

Дополнительным допущением при рассмотрении подобного конфликта является то, что воздействия могут осуществляться только на наблюдаемый ресурс, то есть на ресурс, предварительно разведанный системой наблюдения.

Для формализации задачи введем следующие обозначения:

A, B – стороны конфликтующих информационно-управляющих метасистем;

E – эффективность информационно-управляющей метасистемы;

t_0 – начальный момент конфликта;

t – время развития конфликта;

R – объем информационного ресурса;

R_i – информационный ресурс i -ой стороны ($i = A, B$);

$R_{i \min}$ – минимально необходимый объем информационного ресурса, который достаточен для того, чтобы информационная система i -ой стороны выполняла свои функции;

$R_{i \text{ набл}}$ – информационный ресурс i -ой стороны, наблюдаемый противоположной стороной ($i = A, B$);

$R_{i \text{ бл}}$ – информационный ресурс i -ой стороны, заблокированный для использования противоположной стороной ($i = A, B$);

$R_{i \text{ захв}}$ – информационный ресурс i -ой стороны, захваченный противоположной стороной ($i = A, B$);

$R_i(t_0)$ – значение ресурса i -ой стороны в начальный момент конфликта t_0 ($i = A, B$);

α_i – коэффициент, определяющий возможности i -ой стороны по наращиванию количества ее ресурса R_i ($i = A, B$);

β_i – коэффициент, определяющий взаимную конкуренцию элементов i -ой информационной системы между собой за ресурс i -ой стороны R_i ($i = A, B$);

γ_i – коэффициент, определяющий снижение количества ресурса противоположной стороны вследствие воздействия на него средств i -ой стороны ($i = A, B$);

$k_{i \text{ бл}}$ – коэффициент, который описывает долю воздействий i -ой стороны, связанных с блокировкой ресурса противоположной стороны;

$k_{i \text{ захв}}$ – коэффициент, который описывает долю воздействий i -ой стороны, связанных с захватом ресурса противоположной стороны и перераспределением его в свою пользу.

$\alpha_i \text{ набл}$ – коэффициент, определяющий возможности i -ой стороны по наращиванию своего ресурса средств наблюдения, которые наблюдают информационный ресурс противоположной стороны ($i = A, B$);

$\beta_i \text{ набл}$ – коэффициент, определяющий взаимную конкуренцию средств наблюдения i -ой стороны при наблюдении информационного ресурса противоположной стороны ($i = A, B$);

ξ_i – дополнительные переменные, вводимые для свертки математической функции воздействия i -ой стороны на ресурс противоположной стороны ($i = A, B$).

С учетом введенных ограничений и обозначений обобщенная схема рассматриваемого двунаправленного информационного конфликта будет иметь вид, приведенный на рис. 1.

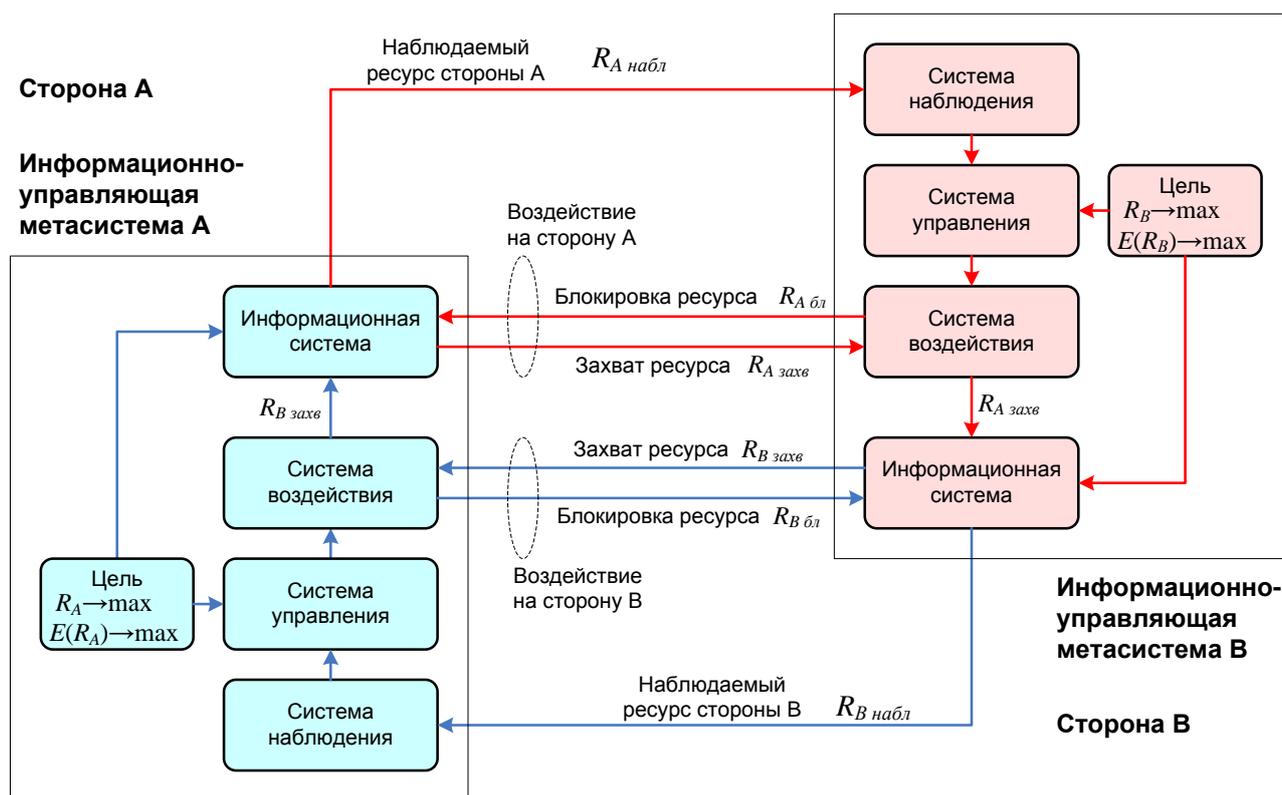


Рис. 1. Обобщенная схема двунаправленного информационного конфликта

Целью каждой из сторон является выполнение критерия максимизации эффективности функционирования, при снижении эффективности противостоящей стороны:

- со стороны A :

$$\begin{cases} E_A(R_A) \rightarrow \max; \\ E_B(R_B) \rightarrow 0 \end{cases};$$

- со стороны B :

$$\begin{cases} E_B(R_B) \rightarrow \max \\ E_A(R_A) \rightarrow 0 \end{cases}.$$

С учетом того, что для эффективного функционирования каждой метасистемы необходимо некоторое минимальное значение информационного ресурса $R_{i \min}$, данные критерии можно переписать в виде:

- со стороны A :

$$\begin{cases} R_A \rightarrow \max \\ R_B \rightarrow \min | R_B < R_{B \min} \end{cases};$$

- со стороны B :

$$\begin{cases} R_B \rightarrow \max \\ R_A \rightarrow \min | R_A < R_{A \min} \end{cases}.$$

Таким образом, рассматриваемый конфликт носит строго антагонистический характер.

2. Общий вид динамической модели двунаправленного информационного конфликта

При моделировании информационного конфликта за основу взяты модели популяционной динамики, представленные в работах [5, 6, 30, 34].

В условиях отсутствия конфликта возможности по использованию ресурсов у каждой стороны будут неограниченно возрастать, то есть их рост можно описать моделью Мальтуса [5]:

$$\begin{aligned} \frac{dR_A}{dt} &= \alpha_A R_A; \\ \frac{dR_B}{dt} &= \alpha_B R_B; \end{aligned} \quad (1)$$

откуда:

$$\begin{aligned} R_A(t) &= R_A(t_0)e^{-\alpha_A t}; \\ R_B(t) &= R_B(t_0)e^{-\alpha_B t}; \end{aligned} \quad (2)$$

где $\alpha_i > 0$ – коэффициент, определяющий возможности i -ой стороны по наращиванию количества ее ресурса R_i ($i = A, B$); $R_i(t_0) > 0$ – значение ресурса i -ой стороны в начальный момент конфликта t_0 ($i = A, B$).

Вместе с тем, рост используемого ресурса в реальности ограничен некими предельными значениями, а также взаимной конкуренцией элементов информационной системы за собственные ресурсы. С учетом этого факта, для оценки динамики изменения количества используемого ресурса каждой из сторон можно применить модель Ферхюльста [5]:

$$\begin{aligned} \frac{dR_A}{dt} &= \alpha_A R_A - \beta_A R_A^2; \\ \frac{dR_B}{dt} &= \alpha_B R_B - \beta_B R_B^2; \end{aligned} \quad (3)$$

откуда [5]:

$$R_A(t) = \frac{\alpha_A e^{-\alpha_A t} R_A(t_0)}{\alpha_A - \beta_A R_A(t_0) + \beta_A e^{-\alpha_A t} R_A(t_0)};$$

$$R_B(t) = \frac{\alpha_B e^{-\alpha_B t} R_B(t_0)}{\alpha_B - \beta_B R_B(t_0) + \beta_B e^{-\alpha_B t} R_B(t_0)}; \quad (4)$$

где $\beta_i > 0$ – коэффициент, определяющий взаимную конкуренцию элементов i -ой информационной системы между собой за ресурс i -ой стороны R_i ($i = A, B$).

Уравнения (4) задают логистическую функцию $R_i(t)$, определяющую количество доступного каждой из сторон ресурса с учетом возможностей по его наращиванию (определяется коэффициентами $\alpha_i > 0$) и взаимной конкуренцией (определяется коэффициентами $\beta_i > 0$). Поведение $R_i(t)$ определяется соотношениями между коэффициентами α_i и β_i .

Несмотря на то, что уравнения (4) не учитывают конфликтного взаимодействия между сторонами, в дальнейшем они будут использованы для моделирования конфликта, так как они позволяют описать динамику изменения ресурсов с учетом взаимной конкуренции средств одной и той же стороны за него.

В основу описания информационного конфликта предлагается положить известную модель Лотки-Вольтерры [30, 34] для моделирования изменения численности биологической популяции в условиях воздействия на нее «хищников» (на примере стороны A):

$$\frac{dR_A}{dt} = \alpha_A R_A - \beta_A R_A^2 - \gamma_B R_A R_B; \quad (5)$$

где: $\alpha_A > 0$ – коэффициент, определяющий возможности стороны по наращиванию количества ресурса R_A ; $\beta_A > 0$ – коэффициент, определяющий снижение возможностей стороны A по наращиванию используемого ресурса R_A вследствие конкуренции элементов этой стороны между собой; $\gamma_B > 0$ – коэффициент, определяющий снижение количества ресурса R_A вследствие конкуренции за него противоположной стороны B .

Первый член выражения (5) $\alpha_A R_A$ соответствует закону Мальтуса [30, 34], второй член $-\beta_A R_A^2$ описывает конкуренцию элементов стороны между собой вследствие ограниченности ресурса (соответствует модели Ферхюльста). Третий член выражения (5) описывает взаимодействие с противоборствующей стороной и имеет вид $-\gamma_B R_A R_B$, где $\gamma_B > 0$ и в теории популяционной динамики называется «трофической функцией». Этот компонент описывает конфликтное взаимодействие, при котором число ресурса R_A стороны A , на которое может оказать воздействие единица ресурса R_B стороны B за единицу времени, равно γ_B .

Приняв вышерассмотренную модель Лотки-Вольтерры за основу, введем в нее дополнения, позволяющие учесть сделанные выше допущения:

- 1) воздействия могут осуществляться только на наблюдаемый ресурс, то есть на ресурс, предварительно разведанный системой наблюдения;
- 2) воздействия осуществляются как за счет захвата информационного ресурса противника, так и за счет его блокировки.

Рассмотрим третий член выражения (5), описывающий конфликтное взаимодействие сторон. В соответствии с принятыми в работе допущениями, предельное значение поражаемого ресурса стороны A единицей ресурса стороны B должно стремиться к текущему значению наблюдаемого стороной B ресурса $R_{B \text{ набл}}$.

Таким образом член, описывающий убыль ресурса R_A стороны A , можно представить в виде:

$$\gamma_B R_B R_{B \text{ набл}} R_A, \text{ где } 0 < \gamma_B \leq 1. \quad (6)$$

В этом случае коэффициент γ_B имеет смысл доли наблюдаемого стороной B ресурса $R_{B \text{ набл}}$, которая подвергается воздействию со стороны единицы ресурса R_B .

В соответствии со вторым допущением, необходимо разделить воздействия на те, которые ориентированы на блокировку, и те, которые ориентированы на захват ресурса противоположной стороны. Для этого предлагается ввести коэффициенты $k_{i \text{ бл}}$ и $k_{i \text{ захв}}$, которые описывают долю воздействий, связанных с блокировкой и, соответственно, с захватом ресурса противостоящей стороны, причем $k_{i \text{ бл}} + k_{i \text{ захв}} = 1$.

С учетом этого, третий член выражения (5), описывающий конфликтное взаимодействие сторон (на примере стороны A), может быть представлен в виде:

$$\gamma_B R_{B \text{ набл}} R_B (k_{B \text{ бл}} R_A + k_{B \text{ захв}} R_A)$$

Общая динамика изменения ресурса каждой из сторон складывается из следующих параметров:

$$\begin{cases} R_A(t + \Delta t) = R_A(t) + R_{B \text{ захв}}(\Delta t) - R_{A \text{ бл}}(\Delta t) - R_{A \text{ захв}}(\Delta t) \\ R_B(t + \Delta t) = R_B(t) + R_{A \text{ захв}}(\Delta t) - R_{B \text{ бл}}(\Delta t) - R_{B \text{ захв}}(\Delta t) \end{cases}$$

откуда, с учетом формализации вышеприведенных допущений, получим следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dR_A}{dt} = \alpha_A R_A - \beta_A R_A^2 - \gamma_B R_{B \text{ набл}} R_B R_A (k_{B \text{ захв}} + k_{B \text{ бл}}) + k_{A \text{ захв}} \gamma_A R_B R_{A \text{ набл}} R_A \\ \frac{dR_B}{dt} = \alpha_B R_B - \beta_B R_B^2 - \gamma_A R_{A \text{ набл}} R_A R_B (k_{A \text{ захв}} + k_{A \text{ бл}}) + k_{B \text{ захв}} \gamma_B R_A R_{B \text{ набл}} R_B \end{cases} \quad (7)$$

Необходимо отметить, что наблюдаемый ресурс противоположной стороны, во-первых, является функцией от времени, а во-вторых – на него распространяется допущение о взаимной конкуренции средств наблюдения между собой. Так, с ростом числа средств наблюдения не будет происходить идеализированной ситуации, при которой одно средство наблюдения наблюдает одну единицу ресурса противника. Наоборот, с увеличением числа средств наблюдения будет наблюдаться рост числа ресурсов противника, наблюдаемых несколькими средствами одновременно. Исходя из данных соображений, целесообразно для описания изменения средств наблюдения также применить модель Ферхюльста [5]:

$$\begin{aligned} \frac{dR_{A \text{набл}}}{dt} &= \alpha_{A \text{набл}} R_{A \text{набл}} - \beta_{A \text{набл}} R_{A \text{набл}}^2 \\ & ; \\ \frac{dR_{B \text{набл}}}{dt} &= \alpha_{B \text{набл}} R_{B \text{набл}} - \beta_{B \text{набл}} R_{B \text{набл}}^2 \end{aligned} \quad (8)$$

где: $\alpha_{i \text{набл}} > 0$ – коэффициенты, определяющие возможности сторон по наращиванию ресурса средств наблюдения; $\beta_{i \text{набл}} > 0$ – коэффициенты, определяющие взаимную конкуренцию средств наблюдения.

В итоге система уравнений, которая определяет динамику изменения информационного ресурса доступного каждой из сторон с учетом динамики изменения средств наблюдения и определяет динамическую модель информационного конфликта, будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dR_A}{dt} &= \alpha_A R_A - \beta_A R_A^2 - \gamma_B R_{B \text{набл}} R_B R_A (k_{B \text{захв}} + k_{B \text{бл}}) + k_{A \text{захв}} \gamma_A R_B R_{A \text{набл}} R_A \\ \frac{dR_B}{dt} &= \alpha_B R_B - \beta_B R_B^2 - \gamma_A R_{A \text{набл}} R_A R_B (k_{A \text{захв}} + k_{A \text{бл}}) + k_{B \text{захв}} \gamma_B R_A R_{B \text{набл}} R_B \\ \frac{dR_{A \text{набл}}}{dt} &= \alpha_{A \text{набл}} R_{A \text{набл}} - \beta_{A \text{набл}} R_{A \text{набл}}^2 \\ \frac{dR_{B \text{набл}}}{dt} &= \alpha_{B \text{набл}} R_{B \text{набл}} - \beta_{B \text{набл}} R_{B \text{набл}}^2 \end{aligned} \right. \quad (9)$$

Для получения частных решений данной системы требуется задание начальных условий $R_A(t_0)$, $R_B(t_0)$, $R_{A \text{набл}}(t_0)$, $R_{B \text{набл}}(t_0)$, которые соответствуют потенциалам противостоящих сторон в начале конфликта. При этом необходимо учесть, что в начальный момент времени ресурс, наблюдаемый одной стороной, не может превышать ресурс противостоящей стороны, то есть: $R_{A \text{набл}}(t_0) \leq R_B(t_0)$, $R_{B \text{набл}}(t_0) \leq R_A(t_0)$. Параметры: α_i , β_i , γ_i , $k_{i \text{захв}}$, $\alpha_{i \text{набл}}$, $\beta_{i \text{набл}}$ ($i = A, B$) фактически соответствуют выбранным стратегиям сторон в конфликте и определяют его развитие.

2. Исследование модели конфликта

в части процессов наблюдения информационного ресурса

Рассмотрим уравнения системы (9), определяющие процесс наблюдения ресурса. Данные уравнения не имеют зависимых параметров (кроме начальных: $R_{A \text{набл}}(t_0) \leq R_B(t_0)$, $R_{B \text{набл}}(t_0) \leq R_A(t_0)$) от 1-го и 2-го уравнений конфликта и могут быть рассмотрены отдельно:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dR_{A \text{набл}}}{dt} &= \alpha_{A \text{набл}} R_{A \text{набл}} - \beta_{A \text{набл}} R_{A \text{набл}}^2 \\ \frac{dR_{B \text{набл}}}{dt} &= \alpha_{B \text{набл}} R_{B \text{набл}} - \beta_{B \text{набл}} R_{B \text{набл}}^2 \end{aligned} \right. \quad (10)$$

Найдем стационарное состояние системы:

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha_{A \text{набл}} R_{A \text{набл}} - \beta_{A \text{набл}} R_{A \text{набл}}^2 &= 0 \\ \alpha_{B \text{набл}} R_{B \text{набл}} - \beta_{B \text{набл}} R_{B \text{набл}}^2 &= 0 \end{aligned} \right.$$

откуда

$$\begin{cases} R_{A \text{ набл}} (\alpha_{A \text{ набл}} - \beta_{A \text{ набл}} R_{A \text{ набл}}) = 0 \\ R_{B \text{ набл}} (\alpha_{B \text{ набл}} - \beta_{B \text{ набл}} R_{B \text{ набл}}) = 0 \end{cases}.$$

$$\text{Корни: } R_{A \text{ набл}} = 0, \frac{\alpha_{A \text{ набл}}}{\beta_{A \text{ набл}}}; R_{B \text{ набл}} = 0, \frac{\alpha_{B \text{ набл}}}{\beta_{B \text{ набл}}}.$$

Фактически данные уравнения в системе имеют вид парабол, ветви которых направлены вниз. В связи с этим, так как по физическому смыслу $R_{A \text{ набл}} \geq 0$ и $R_{B \text{ набл}} \geq 0$, то область допустимых значений этой системы лежит в

пространстве состояний ограниченных $R_{A \text{ набл}} \in \left[0; \frac{\alpha_{A \text{ набл}}}{\beta_{A \text{ набл}}}\right]$ и $R_{B \text{ набл}} \in \left[0; \frac{\alpha_{B \text{ набл}}}{\beta_{B \text{ набл}}}\right]$.

При задании начальных значений $R_{A \text{ набл}}(t_0)$ и $R_{B \text{ набл}}(t_0)$ фазовая траектория изменения средств наблюдения $(R_{A \text{ набл}}; R_{B \text{ набл}})$ будет стремиться к своему единственному стационарному решению:

$$\begin{cases} R_{A \text{ набл}}(t_0) \rightarrow \frac{\alpha_{A \text{ набл}}}{\beta_{A \text{ набл}}} \\ R_{B \text{ набл}}(t_0) \rightarrow \frac{\alpha_{B \text{ набл}}}{\beta_{B \text{ набл}}} \end{cases}. \quad (11)$$

Докажем, что точка $(R_{A \text{ набл}}; R_{B \text{ набл}}) = \left(\frac{\alpha_{A \text{ набл}}}{\beta_{A \text{ набл}}}; \frac{\alpha_{B \text{ набл}}}{\beta_{B \text{ набл}}}\right)$ является устойчивым

узлом. Для исследования используем первый метод Ляпунова для определения типа устойчивости стационарной точки в соответствии с методикой, представленной в работах [39, 40].

Последовательно дифференцируя уравнения системы (10) по $R_{A \text{ набл}}$ и $R_{B \text{ набл}}$, получим коэффициенты a_{ij} характеристического уравнения

$$\lambda^2 - \lambda(a_{11} + a_{22}) + (a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}) = 0,$$

где:

$$a_{11} = \frac{d}{dR_{A \text{ набл}}} (\alpha_{A \text{ набл}} R_{A \text{ набл}} - \beta_{A \text{ набл}} R_{A \text{ набл}}^2) = \alpha_{A \text{ набл}} - 2\beta_{A \text{ набл}} R_{A \text{ набл}},$$

$$a_{12} = \frac{d}{dR_{B \text{ набл}}} (\alpha_{A \text{ набл}} R_{A \text{ набл}} - \beta_{A \text{ набл}} R_{A \text{ набл}}^2),$$

$$a_{21} = \frac{d}{dR_{A \text{ набл}}} (\alpha_{B \text{ набл}} R_{B \text{ набл}} - \beta_{B \text{ набл}} R_{B \text{ набл}}^2),$$

$$a_{22} = \frac{d}{dR_{B \text{ набл}}} (\alpha_{B \text{ набл}} R_{B \text{ набл}} - \beta_{B \text{ набл}} R_{B \text{ набл}}^2) = \alpha_{B \text{ набл}} - 2\beta_{B \text{ набл}} R_{B \text{ набл}}.$$

Тогда с учетом значений a_{ij} характеристическое уравнение примет вид

$$\lambda^2 - \lambda(a_{11} + a_{22}) + a_{11}a_{22} = 0,$$

откуда дискриминант и корни равны

$$D = (a_{11} + a_{22})^2 - 4a_{11}a_{22},$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} \left((a_{11} + a_{22}) \pm \sqrt{(a_{11} + a_{22})^2 - 4a_{11}a_{22}} \right).$$

Найдем значение $\lambda_{1,2}$ в стационарной точке $(R_{A\text{набл}}; R_{B\text{набл}}) = \left(\frac{\alpha_{A\text{набл}}}{\beta_{A\text{набл}}}; \frac{\alpha_{B\text{набл}}}{\beta_{B\text{набл}}} \right)$

$$\lambda_1 = -(\alpha_{A\text{набл}} + \alpha_{B\text{набл}}) + \sqrt{(\alpha_{A\text{набл}} + \alpha_{B\text{набл}})^2 - 4\alpha_{A\text{набл}}\alpha_{B\text{набл}}},$$

$$\lambda_2 = -(\alpha_{A\text{набл}} + \alpha_{B\text{набл}}) - \sqrt{(\alpha_{A\text{набл}} + \alpha_{B\text{набл}})^2 - 4\alpha_{A\text{набл}}\alpha_{B\text{набл}}}.$$

Численное исследование значений $\lambda_{1,2}$ в области $\alpha_{A\text{набл}} > 0, \alpha_{B\text{набл}} > 0$ показало, что $\lambda_{1,2} < 0$. Так как λ_1 и λ_2 действительные и одного знака, причем $\lambda_{1,2} < 0$, то в соответствии с первым методом Ляпунова стационарная точка $\left(\frac{\alpha_{A\text{набл}}}{\beta_{A\text{набл}}}; \frac{\alpha_{B\text{набл}}}{\beta_{B\text{набл}}} \right)$ – устойчивый узел [39].

Таким образом, процесс конфликтного взаимодействия сторон в части наблюдения стремится к стационарному решению $\left(\frac{\alpha_{A\text{набл}}}{\beta_{A\text{набл}}}; \frac{\alpha_{B\text{набл}}}{\beta_{B\text{набл}}} \right)$, которое определяется для каждой из сторон отношением возможности по наращиванию ресурса средств наблюдения (коэффициент $\alpha_{i\text{набл}}$) к уровню взаимной конкуренции средств наблюдения (коэффициент $\beta_{i\text{набл}}$). Таким образом, для повышения своего выигрыша в части наблюдаемости чужого ресурса каждой из сторон необходимо повышать возможности по наращиванию ресурса, наблюдаемого своими средствами наблюдения, и/или снижать уровень взаимной конкуренции собственных средств наблюдения. Выигрыш по этому показателю будет достигнут у той из сторон, которая обеспечит большее значение отношения вышеуказанных показателей.

3. Исследование модели конфликта в части процессов блокировки и захвата информационного ресурса

3.1 Модель конфликта

Стационарное решение для взаимодействия систем наблюдения будем использовать для получения стационарных решений для 1-го и 2-го уравнений системы (9), которые описывают распределения информационного ресурса в конфликте сторон с учетом процессов его блокировки и захвата. С учетом стационарного решения для $(R_{A\text{набл}}; R_{B\text{набл}}) = \left(\frac{\alpha_{A\text{набл}}}{\beta_{A\text{набл}}}; \frac{\alpha_{B\text{набл}}}{\beta_{B\text{набл}}} \right)$ 1-ое и 2-ое уравнения системы (9) примут вид:

$$\begin{cases} \frac{dR_A}{dt} = \alpha_A R_A - \beta_A R_A^2 - \gamma_B \left(\frac{\alpha_{B\text{набл}}}{\beta_{B\text{набл}}} \right) R_B R_A (k_{B\text{захв}} + k_{B\text{обл}}) + k_{A\text{захв}} \gamma_A \left(\frac{\alpha_{A\text{набл}}}{\beta_{A\text{набл}}} \right) R_B R_A \\ \frac{dR_B}{dt} = \alpha_B R_B - \beta_B R_B^2 - \gamma_A \left(\frac{\alpha_{A\text{набл}}}{\beta_{A\text{набл}}} \right) R_A R_B (k_{A\text{захв}} + k_{A\text{обл}}) + k_{B\text{захв}} \gamma_B \left(\frac{\alpha_{B\text{набл}}}{\beta_{B\text{набл}}} \right) R_A R_B \end{cases} \quad (12)$$

Введем новые переменные, которые не зависят от R_A и R_B :

$$\xi_B = \gamma_B \left(\frac{\alpha_{B \text{набл}}}{\beta_{B \text{набл}}} \right) (k_{B \text{захв}} + k_{B \text{бл}}) - k_{A \text{захв}} \gamma_A \left(\frac{\alpha_{A \text{набл}}}{\beta_{A \text{набл}}} \right),$$

$$\xi_A = \gamma_A \left(\frac{\alpha_{A \text{набл}}}{\beta_{A \text{набл}}} \right) (k_{A \text{захв}} + k_{A \text{бл}}) - k_{B \text{захв}} \gamma_B \left(\frac{\alpha_{B \text{набл}}}{\beta_{B \text{набл}}} \right),$$

при этом ξ_A и ξ_B могут иметь любой знак.

Тогда систему (12) можно записать в виде:

$$\begin{cases} \frac{dR_A}{dt} = \alpha_A R_A - \beta_A R_A^2 - \xi_B R_B R_A \\ \frac{dR_B}{dt} = \alpha_B R_B - \beta_B R_B^2 - \xi_A R_A R_B \end{cases}. \quad (13)$$

Исследуем систему дифференциальных уравнений (13) в соответствии с методикой, представленной в [39, 40].

Найдем особые точки системы (13), в которых система находится в стационарном состоянии, приравняв производные dR_i/dt к нулю

$$\begin{cases} \alpha_A R_A - \beta_A R_A^2 - \xi_B R_B R_A = 0 \\ \alpha_B R_B - \beta_B R_B^2 - \xi_A R_A R_B = 0 \end{cases},$$

откуда упрощая

$$\begin{cases} R_A (\alpha_A - \beta_A R_A - \xi_B R_B) = 0 \\ R_B (\alpha_B - \beta_B R_B - \xi_A R_A) = 0 \end{cases}.$$

Решая последнюю систему, найдем стационарные точки $(R_A; R_B)$ системы (13): $A(0;0)$; $B\left(0; \frac{\alpha_B}{\beta_B}\right)$; $C\left(\frac{\alpha_A}{\beta_A}; 0\right)$; $D\left(\frac{\alpha_B \xi_B - \beta_B \alpha_A}{\xi_A \xi_B - \beta_A \beta_B}; \frac{\alpha_A \xi_A - \beta_A \alpha_B}{\xi_A \xi_B - \beta_A \beta_B}\right)$.

Найдем уравнения изоклин на фазовом портрете системы (13). Из последней системы получим, что для вертикальной изоклины:

$$\begin{cases} \frac{dR_A}{dt} = 0 \\ R_A (\alpha_A - \beta_A R_A - \xi_B R_B) = 0 \end{cases},$$

откуда уравнения изоклин: $R_A = 0$ и $R_A = -\frac{\xi_B}{\beta_A} R_B + \frac{\alpha_A}{\beta_A}$. Причем последнее выражение можно записать в виде

$$R_B = -\frac{\beta_A}{\xi_B} R_A + \frac{\alpha_A}{\xi_B}. \quad (14)$$

Аналогично для горизонтальной изоклины:

$$\begin{cases} \frac{dR_B}{dt} = 0 \\ R_B (\alpha_B - \beta_B R_B - \xi_A R_A) = 0 \end{cases},$$

откуда уравнения изоклин: $R_B = 0$ и

$$R_B = -\frac{\xi_A}{\beta_B} R_A + \frac{\alpha_B}{\beta_B}. \quad (15)$$

Определим знаки производных в различных частях фазовой плоскости. Для вертикальной изоклины (14):

$$\begin{cases} \frac{dR_A}{dt} > 0 \\ -\frac{\beta_A}{\xi_B} R_A + \frac{\alpha_A}{\xi_B} > R_B \end{cases}$$

Для горизонтальной изоклины (15):

$$\begin{cases} \frac{dR_B}{dt} > 0 \\ -\frac{\xi_A}{\beta_B} R_A + \frac{\alpha_B}{\beta_B} > R_B \end{cases}$$

Исходя из значений стационарных точек и уравнений изоклин (14), (15) получим схему фазового портрета динамической системы (13), рис. 2.

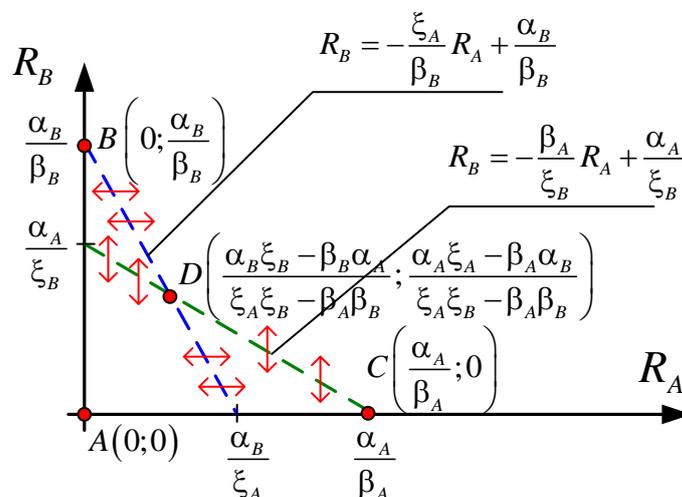


Рис. 2. Обобщенная схема фазового портрета динамического информационного конфликта

3.2 Исследование типа стационарных точек и бифуркаций

Исследуем тип стационарных точек, которые соответствуют модели конфликта.

Последовательно дифференцируя уравнения системы (13) по R_A и R_B получим коэффициенты a_{ij} характеристического уравнения для этой системы

$$\lambda^2 - \lambda(a_{11} + a_{22}) + (a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}) = 0. \quad (16)$$

где:

$$\begin{cases} a_{11} = \frac{d}{dR_A} (\alpha_A R_A - \beta_A R_A^2 - \xi_B R_B R_A) = \alpha_A - 2\beta_A R_A - \xi_B R_B \\ a_{12} = \frac{d}{dR_B} (\alpha_A R_A - \beta_A R_A^2 - \xi_B R_B R_A) = -\xi_B R_A \\ a_{21} = \frac{d}{dR_A} (\alpha_B R_B - \beta_B R_B^2 - \xi_A R_A R_B) = -\xi_A R_B \\ a_{22} = \frac{d}{dR_B} (\alpha_B R_B - \beta_B R_B^2 - \xi_A R_A R_B) = \alpha_B - 2\beta_B R_B - \xi_A R_A \end{cases} \quad (17)$$

Дискриминант характеристического уравнения (16) равен:

$$D = (a_{11} + a_{22})^2 - 4(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}), \quad (18)$$

а корни характеристического уравнения равны:

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} \left((a_{11} + a_{22}) \mp \sqrt{(a_{11} + a_{22})^2 - 4a_{11}a_{22}} \right). \quad (19)$$

Дополнительные переменные:

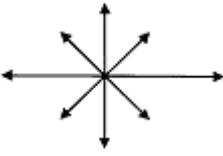
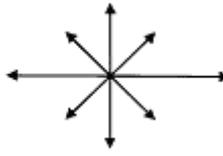
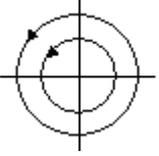
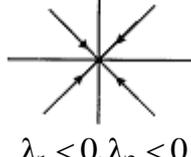
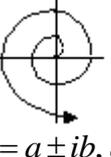
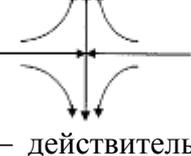
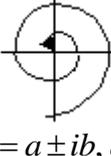
$$G = a_{11} + a_{22} = \alpha_A + \alpha_B - 2\beta_A R_A - 2\beta_B R_B - \xi_A R_A - \xi_B R_B,$$

$$\Delta = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} = (2\beta_A R_A - \alpha_A + \xi_B R_B)(2\beta_B R_B - \alpha_B + \xi_A R_A) - \xi_A \xi_B R_A R_B,$$

при этом $D = G^2 - 4\Delta$.

Исследуем тип стационарных точек. Для такого исследования используем первый метод Ляпунова для определения типа устойчивости стационарной точки в соответствии с методикой, представленной в работе [39] (таблица 1).

Таблица 1 – Значения D , G , Δ , $\lambda_{1,2}$ для определения типа стационарной точки по первому методу Ляпунова [39]

$D > 0$	$D = 0$	$D < 0$
<p>Неустойчивый узел $\Delta > 0, G > 0$</p>  <p>$\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0$</p>	<p>Неустойчивый узел $G > 0$</p>  <p>$\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0$</p>	<p>Центр $G = 0, \Delta > 0$</p>  <p>$\lambda_{1,2}$ – чисто мнимые</p>
<p>Устойчивый узел $\Delta > 0, G < 0$</p>  <p>$\lambda_1 < 0, \lambda_2 < 0$</p>	<p>Устойчивый узел $G < 0$</p>  <p>$\lambda_1 < 0, \lambda_2 < 0$</p>	<p>Неустойчивый фокус $G > 0$</p>  <p>$\lambda_{1,2} = a \pm ib, a > 0$</p>
<p>Седло $\Delta < 0$</p>  <p>$\lambda_{1,2}$ – действительные, различных знаков</p>		<p>Устойчивый фокус $G < 0$</p>  <p>$\lambda_{1,2} = a \pm ib, a < 0$</p>

Рассмотрим точку $A(0; 0)$.

Подставим в выражения (17), (19) соответствующие значения $R_A = 0$ и $R_B = 0$. Получим, что корни характеристического уравнения равны $\lambda_1 = \alpha_B$ и $\lambda_2 = \alpha_A$. Так как $\alpha_A > 0$ и $\alpha_B > 0$, то $\lambda_1 > 0$ и $\lambda_2 > 0$, следовательно, в соответствии с первым методом Ляпунова (таблица 1), точка $A(0; 0)$ – всегда *неустойчивый узел*.

Рассмотрим точку $B \left(0; \frac{\alpha_B}{\beta_B} \right)$.

Подставим в выражения a_{ij} соответствующие (17) значения $R_A = 0$ и $R_B = \frac{\alpha_B}{\beta_B}$. Вычисляя соответствующие выражения (18) и (19), получим корни характеристического уравнения:

$$\lambda_1 = -\alpha_B,$$

$$\lambda_2 = -\frac{\alpha_B}{\beta_B} \xi_B + \alpha_A.$$

То есть, $\lambda_1 < 0$ всегда, так как $\alpha_A > 0$. При этом λ_2 может иметь любой знак с учетом того, что ξ_B может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

Найдем ξ_B , соответствующую $\lambda_2 = 0$:

$$\xi_B = \frac{\alpha_A \beta_B}{\alpha_B}.$$

С учетом того, что $\lambda_2 = -\frac{\alpha_B}{\beta_B} \xi_B + \alpha_A$ является линейной убывающей функцией, получим следующее. На интервале $\xi_B \in \left(-\infty; \frac{\alpha_A \beta_B}{\alpha_B} \right]$ корни $\lambda_1 < 0$, а $\lambda_2 > 0$, то есть имеют различный знак. На интервале $\xi_B \in \left[\frac{\alpha_A \beta_B}{\alpha_B}; \infty \right)$ корни $\lambda_1 < 0$, а $\lambda_2 < 0$, то есть имеют один знак – отрицательный.

В соответствии с первым методом Ляпунова (таблица 1), при $\xi_B < \frac{\alpha_A \beta_B}{\alpha_B}$ точка B является *седлом*, при $\xi_B > \frac{\alpha_A \beta_B}{\alpha_B}$ эта точка – *устойчивый узел*. Значение, $\xi_B = \frac{\alpha_A \beta_B}{\alpha_B}$ – является бифуркацией точки B .

Рассмотрим точку $C \left(\frac{\alpha_A}{\beta_A}; 0 \right)$.

Подставим в выражения a_{ij} соответствующие (17) значения $R_A = \frac{\alpha_A}{\beta_A}$ и $R_B = 0$. Вычисляя соответствующие выражения (18) и (19), получим корни характеристического уравнения:

$$\lambda_1 = -\alpha_A,$$

$$\lambda_2 = -\frac{\alpha_A}{\beta_A} \xi_A + \alpha_B.$$

То есть, $\lambda_1 < 0$ всегда, так как $\alpha_A > 0$. При этом λ_2 может иметь любой знак с учетом того, что ξ_A может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

Найдем ξ_A , соответствующую $\lambda_2 = 0$:

$$\xi_A = \frac{\alpha_B \beta_A}{\alpha_A}.$$

С учетом того, что $\lambda_2 = -\frac{\alpha_A}{\beta_A}\xi_A + \alpha_B$ является линейной убывающей функцией, получим следующее. На интервале $\xi_A \in \left(-\infty; \frac{\alpha_B\beta_A}{\alpha_A}\right]$ корни $\lambda_1 < 0$, а $\lambda_2 > 0$, то есть имеют различный знак. На интервале $\xi_A \in \left[\frac{\alpha_B\beta_A}{\alpha_A}; \infty\right)$ корни $\lambda_1 < 0$, а $\lambda_2 < 0$, то есть имеют один знак – отрицательный.

В соответствии с первым методом Ляпунова (таблица 1), при $\xi_A < \frac{\alpha_B\beta_A}{\alpha_A}$ точка C является *седлом*, при $\xi_A > \frac{\alpha_B\beta_A}{\alpha_A}$ эта точка – *устойчивый узел*. Значение $\xi_A = \frac{\alpha_B\beta_A}{\alpha_A}$ – является бифуркацией точки C .

Рассмотрим точку $D\left(\frac{\alpha_B\xi_B - \beta_B\alpha_A}{\xi_A\xi_B - \beta_A\beta_B}; \frac{\alpha_A\xi_A - \beta_A\alpha_B}{\xi_A\xi_B - \beta_A\beta_B}\right)$. Данная точка существует только в случае, если горизонтальная и вертикальная изоклины пересекаются (рис. 2). Из этого следуют ограничения на существование точки D :

$$\begin{cases} \frac{\alpha_B}{\beta_B} < \frac{\alpha_A}{\xi_B} \\ \frac{\alpha_A}{\beta_A} < \frac{\alpha_B}{\xi_A} \end{cases}, \quad (20)$$

или

$$\begin{cases} \frac{\alpha_B}{\beta_B} > \frac{\alpha_A}{\xi_B} \\ \frac{\alpha_A}{\beta_A} > \frac{\alpha_B}{\xi_A} \end{cases}. \quad (21)$$

Условиями бифуркации для D являются условия пересечения изоклин, которые совпадают с условиями бифуркации точек B и C :

$$\xi_A = \frac{\alpha_B\beta_A}{\alpha_A} \text{ и } \xi_B = \frac{\alpha_A\beta_B}{\alpha_B}.$$

Если

$$\begin{cases} \xi_B < \frac{\alpha_A\beta_B}{\alpha_B} \\ \xi_A < \frac{\alpha_B\beta_A}{\alpha_A} \end{cases}, \quad (22)$$

то точки B и C являются седлами, а точка D является *устойчивым узлом*.

Если

$$\begin{cases} \xi_B > \frac{\alpha_A\beta_B}{\alpha_B} \\ \xi_A > \frac{\alpha_B\beta_A}{\alpha_A} \end{cases}, \quad (23)$$

то точки B и C являются устойчивыми узлами, а точка D является *седлом*.

3.3 Исследование типовых состояний конфликта

Рассмотрим типовые состояния конфликта, которые соответствуют типовым фазовым портретам динамической системы (13) и определяются взаимным расположением изоклин и стационарных точек.

1. Выигрыш стороны A. В этом случае в системе имеются только три стационарные точки A , B , C , при этом точка C – устойчивый узел, соответствующий выигрышу стороны A . Данный случай возможен, когда вертикальная и горизонтальная изоклины не пересекаются (рис. 2) и выполняются условия:

$$\begin{cases} \frac{\alpha_B}{\beta_B} < \frac{\alpha_A}{\xi_B} \\ \frac{\alpha_A}{\beta_A} > \frac{\alpha_B}{\xi_A} \end{cases}. \quad (24)$$

Из этой системы следует $\xi_B < \frac{\alpha_A \beta_B}{\alpha_B}$ и $\xi_A > \frac{\alpha_B \beta_A}{\alpha_A}$. В этом случае, как было доказано выше, точка B – седло, а точка C – устойчивый узел. Точка A – неустойчивый узел. Фазовый портрет, соответствующий этому случаю, представлен на рис. 3.

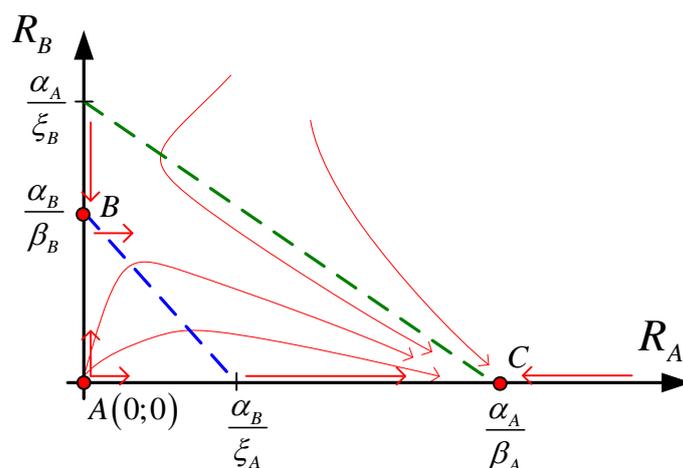


Рис. 3. Фазовый портрет динамического информационного конфликта, соответствующий выигрышу стороны A

Анализ фазовых траекторий показывает, что исход конфликта (победа стороны A) определяется выполнением следующих условий:

- отношение α_A/β_A возможностей стороны A по наращиванию использования своего информационного ресурса (коэффициент α_A) к убытию этого ресурса в результате взаимной конкуренции (коэффициент β_A) превышает отношение α_A/ξ_B возможностей этой же стороны по наращиванию использования своего информационного ресурса (коэффициент α_A) к убытию этого ресурса в результате конфликта со стороной B (коэффициент ξ_B) – $\left(\frac{\alpha_A}{\beta_A} > \frac{\alpha_B}{\xi_A}\right)$;

- у стороны B вышеуказанная зависимость не выполняется $\left(\frac{\alpha_B}{\beta_B} < \frac{\alpha_A}{\xi_A}\right)$.

В соответствии с этими условиями, на этапе начального развития конфликта численность информационного ресурса у стороны B убывает быстрее в основном из-за конфликта сторон между собой. После того как количество ресурса стороны B критически снижается, он почти полностью перераспределяется в пользу стороны A . В дальнейшем, ресурс стороны A начинает снижаться в результате взаимной конкуренции средств этой стороны пока, в итоге, уровень ресурса стороны A не стабилизируется на значении α_A/β_A .

2. Выигрыш стороны B . В этом случае в системе имеется только три стационарные точки A , B , C , при этом точка B – устойчивый узел соответствующий выигрышу стороны B . Данный случай возможен, когда вертикальная и горизонтальная изоклины не пересекаются (рис. 4) и выполняются условия:

$$\begin{cases} \frac{\alpha_B}{\beta_B} > \frac{\alpha_A}{\xi_A} \\ \frac{\alpha_A}{\beta_A} < \frac{\alpha_B}{\xi_B} \end{cases} \quad (25)$$

Из этой системы следует $\xi_B > \frac{\alpha_A \beta_B}{\alpha_B}$ и $\xi_A < \frac{\alpha_B \beta_A}{\alpha_A}$. В этом случае, как было доказано выше, точка B – устойчивый узел, а точка C – седло. Точка A – неустойчивый узел. Фазовый портрет соответствующий этому случаю представлен на рис. 4.

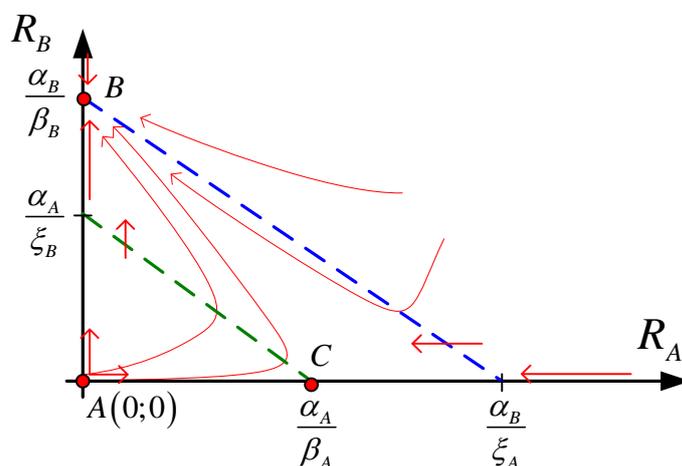


Рис. 4. Фазовый портрет динамического информационного конфликта, соответствующий выигрышу стороны B

Анализ фазовых траекторий показывает, что исход конфликта (победа стороны B) определяется выполнением следующих условий:

- отношение α_B/β_B возможностей стороны B по наращиванию использования своего информационного ресурса (коэффициент α_B) к убытию этого ресурса в результате взаимной конкуренции

(коэффициент β_B) превышает отношение α_B/ξ_A возможностей этой же стороны по наращиванию использования своего информационного ресурса (коэффициент α_B) к убытию этого ресурса в результате конфликта со стороной A (коэффициент ξ_A) – $\left(\frac{\alpha_B}{\beta_B} > \frac{\alpha_A}{\xi_B}\right)$;

- у стороны A вышеуказанная зависимость не выполняется $\left(\frac{\alpha_A}{\beta_A} < \frac{\alpha_B}{\xi_A}\right)$.

В соответствии с этими условиями, на этапе начального развития конфликта численность информационного ресурса у стороны A убывает быстрее, в основном – из-за конфликта сторон между собой. После того, как количество ресурса стороны A критически снижается, он почти полностью перераспределяется в пользу стороны B . В дальнейшем, ресурс стороны B начинает снижаться в результате взаимной конкуренции средств этой стороны пока, в итоге, уровень ресурса не стабилизируется на значении α_B/β_B .

3. Неустойчивое состояние конфликта, когда выигрыш той или иной стороны зависит от начальных условий. В этом случае в системе имеется четыре стационарные точки A, B, C, D . Данный случай возможен, когда вертикальная и горизонтальная изоклины пересекаются (рис. 5), и выполняется условие (21):

$$\begin{cases} \frac{\alpha_B}{\beta_B} > \frac{\alpha_A}{\xi_B} \\ \frac{\alpha_A}{\beta_A} > \frac{\alpha_B}{\xi_A} \end{cases} \quad (26)$$

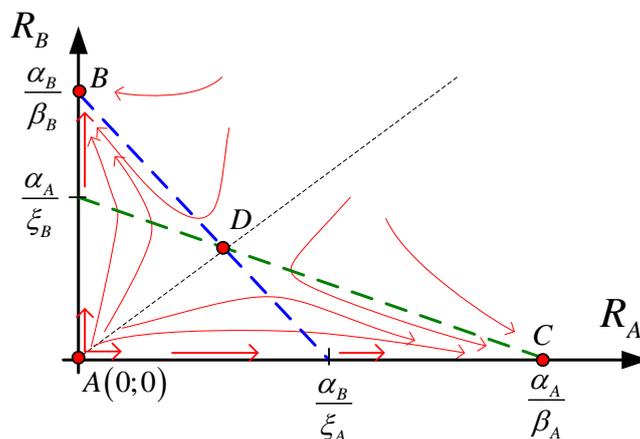


Рис. 5. Фазовый портрет динамического информационного конфликта, соответствующий неустойчивому состоянию

Как было доказано выше, при этих условиях точка D – седло, точки B и C – неустойчивые узлы, а точка A – неустойчивый узел. Фазовый портрет, соответствующий этому случаю, представлен на рис. 5.

Анализ фазовых траекторий показывает, что исход конфликта (победа стороны A или стороны B) определяется его начальными условиями.

На этапе начального развития конфликта стороны конфликта конкурируют за информационный ресурс пока траектория конфликта стремится к точке D . Однако после пересечения изоклин траектория изменения ресурса резко изменяется в направлении выигрыша одной из сторон.

4. Конфликтно-устойчивое состояние с отсутствием проигрыша каждой из сторон. В этом случае в системе имеется четыре стационарные точки A, B, C, D . Данный случай возможен, когда вертикальная и горизонтальная изоклины пересекаются (рис. 7) и выполняются условие (20):

$$\begin{cases} \frac{\alpha_B}{\beta_B} < \frac{\alpha_A}{\xi_B} \\ \frac{\alpha_A}{\beta_A} < \frac{\alpha_B}{\xi_A} \end{cases}.$$

Как было доказано выше при этих условиях: точка D – устойчивый узел, B и C – седла, а точка A – неустойчивый узел. Фазовый портрет, соответствующий этому случаю, представлен на рис. 7.

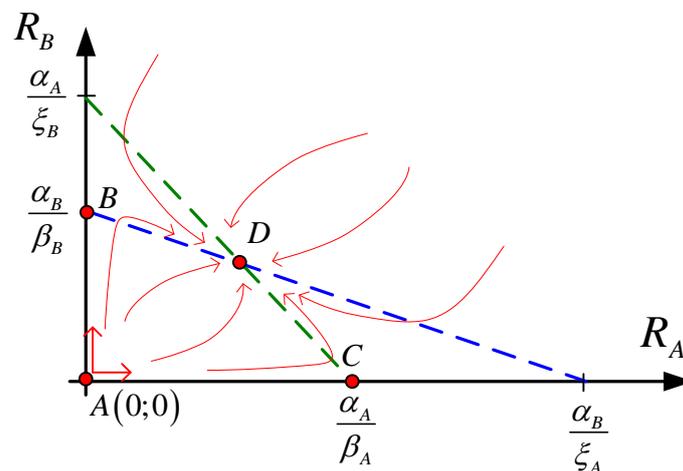


Рис. 7. Фазовый портрет динамического информационного конфликта, соответствующий его конфликтно-устойчивому состоянию

В этом случае в начале конфликта некоторое время стороны конкурируют за информационный ресурс, пока фазовые траектории не пересекут линии перегиба фазовых траекторий. После этого число информационного ресурса, доступного обоим сторонам, стремится к устойчивому стационарному состоянию (точка D) $R_A = \frac{\alpha_B \xi_B - \beta_B \alpha_A}{\xi_A \xi_B - \beta_A \beta_B}$ и $R_B = \frac{\alpha_A \xi_A - \beta_A \alpha_B}{\xi_A \xi_B - \beta_A \beta_B}$.

4 Сценарий действий одной из сторон

для достижения выигрыша в информационном конфликте

На примере стороны A рассмотрим, каким образом необходимо действовать этой стороне, чтобы обеспечить выигрыш в информационном конфликте.

Сценарии действий стороны A рассмотрим при допущении, что противник (сторона B) не применяет ответных контр-сценариев в конфликте, то есть параметры $\alpha_B, \beta_B, \gamma_B, k_{B \text{ захв}}, \alpha_{B \text{ набл}}, \beta_{B \text{ набл}}$ — являются константами.

Рассмотрим процесс перехода информационного конфликта из состояния проигрыша стороны A в состояние ее выигрыша (рис. 8).

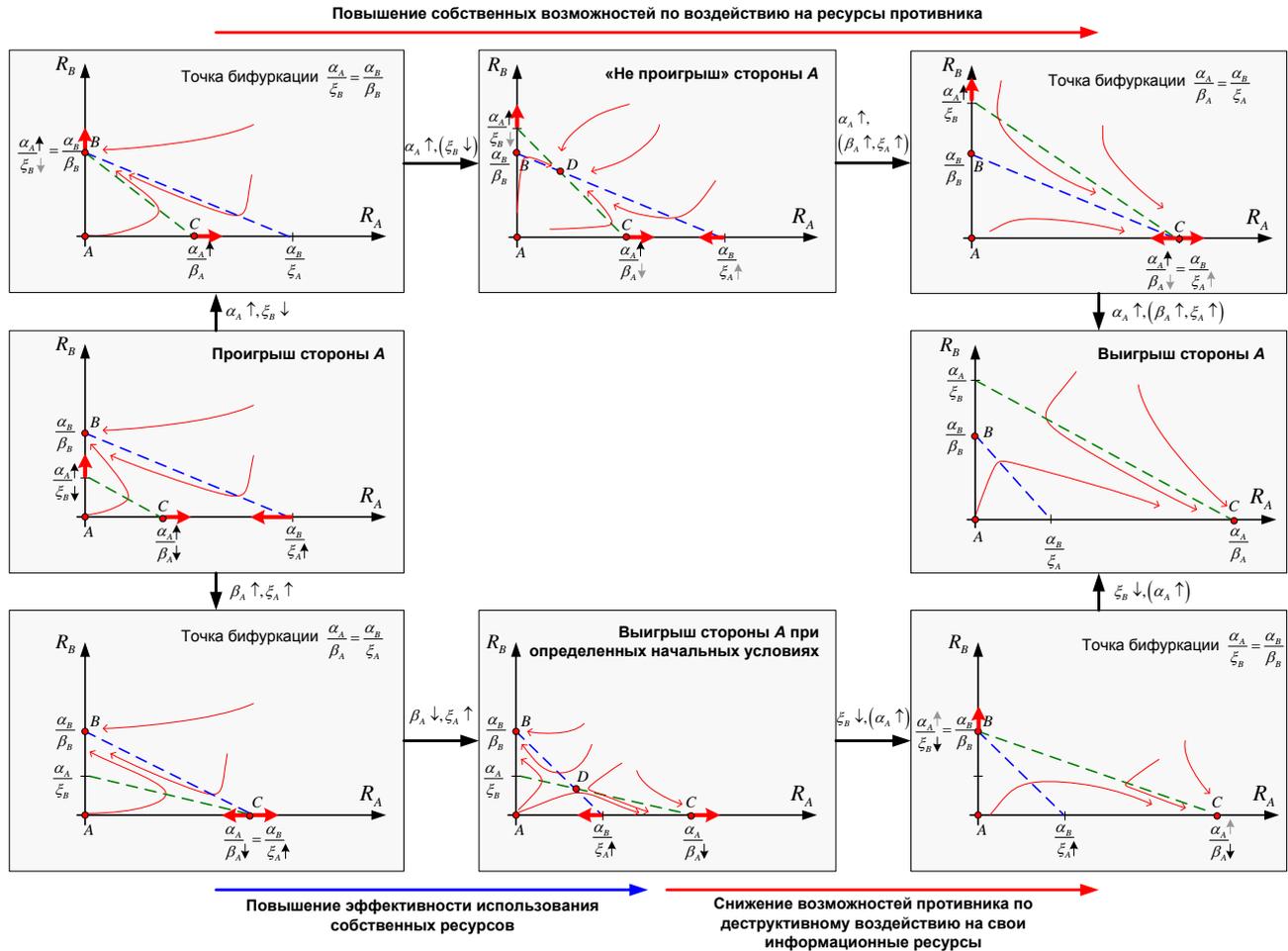


Рис. 8. Процесс перехода информационного конфликта из состояния проигрыша стороны A в состояние ее выигрыша

Переход стороны A из проигрышного в выигрышное возможен по двум сценариям, которые направлены на изменение следующих параметров:

- 1) повышение собственных возможностей по воздействию на противника, с одновременным снижением возможностей противника по деструктивному воздействию на свои информационные ресурсы (этот сценарий соответствует верхнему направлению переходов);
- 2) повышение эффективности использования собственных ресурсов, с последующим повышением возможностей по воздействию на противника и одновременным снижением возможностей противника по деструктивному воздействию на свои информационные ресурсы (этот сценарий соответствует нижнему направлению переходов).

В обоих сценариях для перехода из проигрышного состояния в выигрышное необходимо пройти через точки бифуркации $\xi_B = \frac{\alpha_A \beta_B}{\alpha_B}$ и $\xi_A = \frac{\alpha_B \beta_A}{\alpha_A}$.

Рассмотрим сценарии перехода информационного конфликта в интересах перевода его в выигрышное состояние для стороны A по двум вышеуказанным сценариям более подробно.

Отметим, что анализ процессов развития информационного конфликта показал, что наиболее сильным ее параметром, в наибольшей степени определяющем возможности по переводу конфликта в выигрышное состояние, является коэффициент α_A , определяющий возможности стороны A по наращиванию количества ресурса R_A . В первом сценарии выигрыш в конфликте может быть достигнут только за счет изменения именно этого коэффициента. Менее сильным параметром является коэффициент ξ_B , определяющий возможности противника по уровню деструктивного конфликтного взаимодействия. Именно повышение коэффициента α_A и снижение коэффициента ξ_B определяют выигрыш стороны A в информационном конфликте. Так, во втором сценарии изменение именно этих коэффициентов обязательно требуется на втором этапе реализации выигрышного сценария.

Необходимо уточнить, что сценарии изменения параметров реализуются до фактического начала конфликта. Так как при начале конфликта его параметры ($\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, k_i \text{ захв}, \alpha_i \text{ набл}, \beta_i \text{ набл}, R_i 0$, где $i=A, B$) принимают конкретные значения, которые определяют как конкретное состояние конфликта (тип фазового портрета динамической модели в зависимости от соотношений между параметрами), так и конкретный вид траектории $f(R_A; R_B)$ изменения информационных ресурсов сторон в процессе его развития.

4.1 Сценарий повышения собственных возможностей по воздействию на противника с одновременным снижением возможностей противника по деструктивному воздействию на свои информационные ресурсы

Этот сценарий соответствует верхнему направлению переходов на рис. 8 и реализуется в два этапа. Этот сценарий целесообразен в случае, если сторона A может обеспечить кардинальное увеличение своих возможностей по наращиванию доступного ей информационного ресурса (что соответствует увеличению коэффициента α_A).

Этап 1. На начальном этапе сторона A находится в потенциально проигрышном состоянии. В этом состоянии в случае начала конфликта с любыми начальными значениями информационных ресурсов R_A и R_B стороны по завершении конфликта придут к победе стороны B , которой по итогам конфликта достанется количество ресурса равное $R_B = \frac{\alpha_B}{\beta_B}$.

Путем увеличения своих возможностей по наращиванию количества ресурса (повышение коэффициента α_A) сторона A сдвигает конечные точки

изоклин в выгодном для себя направлении. Точка $\left(0; \frac{\alpha_A}{\xi_B}\right)$ двигается вверх по оси R_B . Точка $C\left(\frac{\alpha_A}{\beta_A}; 0\right)$; двигается вправо по оси R_A . Значение $\frac{\alpha_A}{\xi_B} = \frac{\alpha_B}{\beta_B}$ соответствует бифуркации информационного конфликта, после которой его поведение меняется. После прохождения этой бифуркации информационный конфликт переходит в конфликтно-устойчивое состояние, соответствующее потенциальному «непроигрышу стороны A ». В этом состоянии в случае начала конфликта с любыми начальными значениями информационных ресурсов сторон R_A и R_B стороны в завершении конфликта придут к равновесному распределению ресурсов $R_A = \frac{\alpha_B \xi_B - \beta_B \alpha_A}{\xi_A \xi_B - \beta_A \beta_B}$ и $R_B = \frac{\alpha_A \xi_A - \beta_A \alpha_B}{\xi_A \xi_B - \beta_A \beta_B}$. При этом необходимо отметить, что повышение скорости смещения точки $\left(0; \frac{\alpha_A}{\xi_B}\right)$ по оси

R_B может быть обеспечено за счет снижения возможностей противника по деструктивному воздействию на информационные ресурсы стороны A путем проведения соответствующих мероприятий защиты, что соответствует снижению коэффициента ξ_B .

Этап 2. Дальнейшее развитие выигрышного сценария предусматривает продолжение сдвига точки $C\left(\frac{\alpha_A}{\beta_A}; 0\right)$; вправо по оси R_A за счет повышения своих возможностей по наращиванию количества ресурса (увеличение коэффициента α_A). Такое повышение сдвигает точку C вправо по оси R_A до момента бифуркации $\frac{\alpha_A}{\beta_A} = \frac{\alpha_B}{\xi_A}$. Сдвиг точки C вправо может быть ускорен путем дополнительного снижения уровня взаимной конкуренции средств своей стороны за информационный ресурс, что соответствует снижению коэффициента β_A . После прохождения второй бифуркации информационный конфликт переходит в состояние, соответствующее потенциальному «выигрышу стороны A ». В этом состоянии в случае начала конфликта с любыми начальными значениями информационных ресурсов сторон R_A и R_B стороны в завершении конфликта придут к победе стороны A , которой по итогам конфликта достанется количество ресурса, равное $R_A = \frac{\alpha_A}{\beta_A}$.

Таким образом, этот сценарий реализуется в два этапа.

На первом этапе сценария, до начала конфликта, обеспечиваются следующие направления изменения параметров стороны A :

$$\begin{cases} \alpha_A \uparrow \\ \xi_B \downarrow = (\gamma_B \downarrow) \left(\frac{\alpha_{B \text{ набл}} \downarrow}{\beta_{B \text{ набл}} \uparrow} \right) (k_{B \text{ захв}} \downarrow + k_{B \text{ бл}} \downarrow) - (k_{A \text{ захв}} \uparrow) (\gamma_A \uparrow) \left(\frac{\alpha_{A \text{ набл}} \uparrow}{\beta_{A \text{ набл}} \downarrow} \right). \end{cases} \quad (27)$$

На втором этапе, до начала конфликта – изменения параметров:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_A \uparrow \\ \beta_A \downarrow \\ \xi_A \uparrow = (\gamma_A \uparrow) \left(\frac{\alpha_{A \text{набл}} \uparrow}{\beta_{A \text{набл}} \downarrow} \right) (k_{A \text{захв}} \uparrow + k_{A \text{бл}} \uparrow) - (k_{B \text{захв}} \downarrow) (\gamma_B \downarrow) \left(\frac{\alpha_{B \text{набл}} \downarrow}{\beta_{B \text{набл}} \uparrow} \right) \end{array} \right. . \quad (28)$$

Таким образом, для перехода в выигрышное состояние для стороны *A* на первом этапе сценария нужно обеспечить изменение следующих параметров этой стороны (выражение (27)):

- увеличение возможностей своей стороны по наращиванию количества доступного ей информационного ресурса (коэффициент α_A) – основное действие;
- увеличение возможностей своей стороны по захвату информационного ресурса противника (коэффициент $k_{A \text{ захв}}$);
- увеличение эффективности воздействия средств своей стороны на информационный ресурс противника (коэффициент γ_A);
- увеличение возможностей своей стороны по наращиванию ресурса средств наблюдения (коэффициент $\alpha_{A \text{ набл}}$);
- снижение взаимной конкуренции средств наблюдения своей стороны (коэффициент $\beta_{A \text{ набл}}$).

Также из системы (27) следуют способы противодействия противнику, направленные на снижение его возможностей по дестабилизирующему воздействию на информационный ресурс своей стороны на первом этапе этого сценария:

- снижение эффективности воздействия средств противника на информационный ресурс своей стороны (коэффициент γ_B);
- снижение возможностей противника по наращиванию ресурса средств наблюдения (коэффициент $\alpha_{B \text{ набл}}$);
- повышение взаимной конкуренции средств наблюдения противника (коэффициент $\beta_{B \text{ набл}}$);
- снижение возможностей противника по захвату информационного ресурса своей стороны (коэффициент $k_{B \text{ захв}}$);
- снижение возможностей противника по блокировке информационного ресурса своей стороны (коэффициент $k_{B \text{ бл}}$).

На втором этапе этого сценария для стороны *A* нужно обеспечить (выражение (28)):

- увеличение возможностей стороны по наращиванию количества доступного ей информационного ресурса (коэффициент α_A) – основное действие;
- снижение взаимной конкуренции средств своей стороны за информационный ресурс (коэффициент β_A);
- увеличение эффективности воздействия средств своей стороны на информационный ресурс противника (коэффициент γ_A);

- увеличение возможностей своей стороны по захвату информационного ресурса противника (коэффициент $k_{A \text{ захв}}$);
- увеличение возможностей своей стороны по блокировке информационного ресурса противника (коэффициент $k_{A \text{ бл}}$);
- увеличение возможностей своей стороны по наращиванию ресурса средств наблюдения (коэффициент $\alpha_{A \text{ набл}}$);
- снижение взаимной конкуренции средств наблюдения своей стороны (коэффициент $\beta_{A \text{ набл}}$).

Способы противодействия противнику на втором этапе этого сценария (выражение (28)):

- снижение возможностей противника по захвату информационного ресурса своей стороны (коэффициент $k_{B \text{ захв}}$);
- снижение эффективности воздействия средств противника на информационный ресурс своей стороны (коэффициент γ_B);
- снижение возможностей противника по наращиванию ресурса средств наблюдения (коэффициент $\alpha_{B \text{ набл}}$);
- повышение взаимной конкуренции средств наблюдения противника (коэффициент $\beta_{B \text{ набл}}$).

4.2 Сценарий повышения эффективности использования собственных ресурсов и снижения возможностей противника по деструктивному воздействию на свои информационные ресурсы

Этот сценарий соответствует нижнему направлению переходов на рис. 8. Этот сценарий целесообразен в случае если сторона A не может обеспечить кардинальное увеличение своих возможностей по наращиванию доступного ей информационного ресурса (увеличение коэффициента α_A). Вместо этого эта сторона вынуждена на начальном этапе повышать эффективность использования уже имеющегося ресурса (снижение коэффициента β_A и повышение коэффициента ξ_A). Этот сценарий также реализуется в два этапа.

Этап 1. На начальном этапе сторона A находится в потенциально проигрышном состоянии. В этом состоянии в случае начала конфликта с любыми начальными значениями информационных ресурсов R_A и R_B стороны по завершении конфликта придут к победе стороны B , которой по итогам конфликта достанется количество ресурса равное $R_B = \frac{\alpha_B}{\beta_B}$.

Путем снижения уровня взаимной конкуренции средств своей стороны за информационный ресурс (соответствует снижению коэффициента β_A) с одновременным повышением собственных возможностей по деструктивному воздействию на информационные ресурсы противника (соответствует повышению коэффициента ξ_A) сторона A сдвигает конечные точки изоклин в выгодном для себя направлении. Точка $C\left(\frac{\alpha_A}{\beta_A}; 0\right)$; двигается вправо по оси R_A .

Точка $\left(\frac{\alpha_B}{\xi_A}; 0\right)$ двигается влево по оси R_A . Значение $\frac{\alpha_A}{\beta_A} = \frac{\alpha_B}{\xi_A}$ соответствует

бифуркации информационного конфликта, после которой его поведение меняется. После прохождения этой бифуркации информационный конфликт переходит в состояние, когда выигрыш стороны A становится возможен при определенных начальных условиях. То есть в этом состоянии исход конфликта определяется начальными значениями информационных ресурсов сторон R_A и R_B .

Этап 2. Если начальное соотношение ресурсов сторон R_A и R_B не позволяет выиграть стороне A , то она начинает увеличивать свои возможности или по наращиванию количества ресурса (повышение коэффициента α_A) или по снижению возможностей противника по деструктивному воздействию на собственные информационные ресурсы (снижение коэффициента ξ_B). Это ведет к тому, что точка $\left(0; \frac{\alpha_A}{\xi_B}\right)$ смещается вверх по оси R_B . Значение $\frac{\alpha_A}{\xi_B} = \frac{\alpha_B}{\beta_B}$ соответствует второй бифуркации информационного конфликта, после которой его поведение снова меняется. После прохождения второй бифуркации информационный конфликт переходит в состояние соответствующее потенциальному «выигрышу стороны A ». В этом состоянии в случае начала конфликта с любыми начальными значениями информационных ресурсов сторон R_A и R_B стороны в завершении конфликта придут к победе стороны A , которой по итогам конфликта достанется количество ресурса, равное $R_A = \frac{\alpha_A}{\beta_A}$.

Таким образом, этот сценарий реализуется в два этапа.

На первом этапе путем изменения следующих параметров стороны A :

$$\begin{cases} \beta_A \downarrow \\ \xi_A \uparrow = (\gamma_A \uparrow) \left(\frac{\alpha_{A \text{ набл}} \uparrow}{\beta_{A \text{ набл}} \downarrow} \right) (k_{A \text{ захв}} \uparrow + k_{A \text{ бл}} \uparrow) - (k_{B \text{ захв}} \downarrow) (\gamma_B \downarrow) \left(\frac{\alpha_{B \text{ набл}} \downarrow}{\beta_{B \text{ набл}} \uparrow} \right) \\ \alpha_A \uparrow \end{cases} \quad (29)$$

На втором этапе – путем изменения следующих параметров:

$$\begin{cases} \xi_B \downarrow = (\gamma_B \downarrow) \left(\frac{\alpha_{B \text{ набл}} \downarrow}{\beta_{B \text{ набл}} \uparrow} \right) (k_{B \text{ захв}} \downarrow + k_{B \text{ бл}} \downarrow) - (k_{A \text{ захв}} \uparrow) (\gamma_A \uparrow) \left(\frac{\alpha_{A \text{ набл}} \uparrow}{\beta_{A \text{ набл}} \downarrow} \right) \\ \alpha_A \uparrow \end{cases} \quad (30)$$

Таким образом, для перехода в выигрышное состояние для стороны A на первом этапе сценария нужно обеспечить изменение следующих параметров этой стороны (выражение (29)):

- снижение взаимной конкуренции средств своей стороны за информационный ресурс (коэффициент β_A) – основное действие;
- увеличение эффективности воздействия средств своей стороны на информационный ресурс противника (коэффициент γ_A);
- увеличение возможностей своей стороны по захвату информационного ресурса противника (коэффициент $k_{A \text{ захв}}$);
- увеличение возможностей своей стороны по блокировке информационного ресурса противника (коэффициент $k_{A \text{ бл}}$);

- увеличение возможностей стороны по наращиванию ресурса средств наблюдения (коэффициент $\alpha_{A \text{ набл}}$);
- снижение взаимной конкуренции средств наблюдения этой стороны (коэффициент $\beta_{A \text{ набл}}$);
- увеличение возможностей своей стороны по наращиванию количества доступного ей информационного ресурса (коэффициент α_A) – дополнительное действие, если оно возможно.

Также из системы (29) следуют способы противодействия противнику, направленные на снижение его возможностей по дестабилизирующему воздействию на информационный ресурс своей стороны на первом этапе этого сценария:

- снижение возможностей противника по захвату информационного ресурса своей стороны (коэффициент $k_{B \text{ захв}}$);
- снижение эффективности воздействия средств противника на информационный ресурс своей стороны (коэффициент γ_B);
- снижение возможностей противника по наращиванию ресурса средств наблюдения (коэффициент $\alpha_{B \text{ набл}}$);
- повышение взаимной конкуренции средств наблюдения противника (коэффициент $\beta_{B \text{ набл}}$).

На втором этапе этого сценария для стороны A нужно обеспечить (выражение (30)):

- увеличение возможностей своей стороны по захвату информационного ресурса противника (коэффициент $k_{A \text{ захв}}$);
- увеличение эффективности воздействия средств своей стороны на информационный ресурс противника (коэффициент γ_A);
- увеличение возможностей своей стороны по наращиванию ресурса средств наблюдения (коэффициент $\alpha_{A \text{ набл}}$);
- снижение взаимной конкуренции средств наблюдения своей стороны (коэффициент $\beta_{A \text{ набл}}$);
- увеличение возможностей своей стороны по наращиванию количества доступного ей информационного ресурса (коэффициент α_A) – дополнительное действие, если оно возможно.

Способы противодействия противнику на втором этапе этого сценария (выражение (30)):

- снижение эффективности воздействия средств противника на информационный ресурс своей стороны (коэффициент γ_B);
- снижение возможностей противника по наращиванию ресурса средств наблюдения (коэффициент $\alpha_{B \text{ набл}}$);
- повышение взаимной конкуренции средств наблюдения противника (коэффициент $\beta_{B \text{ набл}}$);
- снижение возможностей противника по захвату информационного ресурса своей стороны (коэффициент $k_{B \text{ захв}}$);
- снижение возможностей противника по блокировке информационного ресурса своей стороны (коэффициент $k_{B \text{ бл}}$).

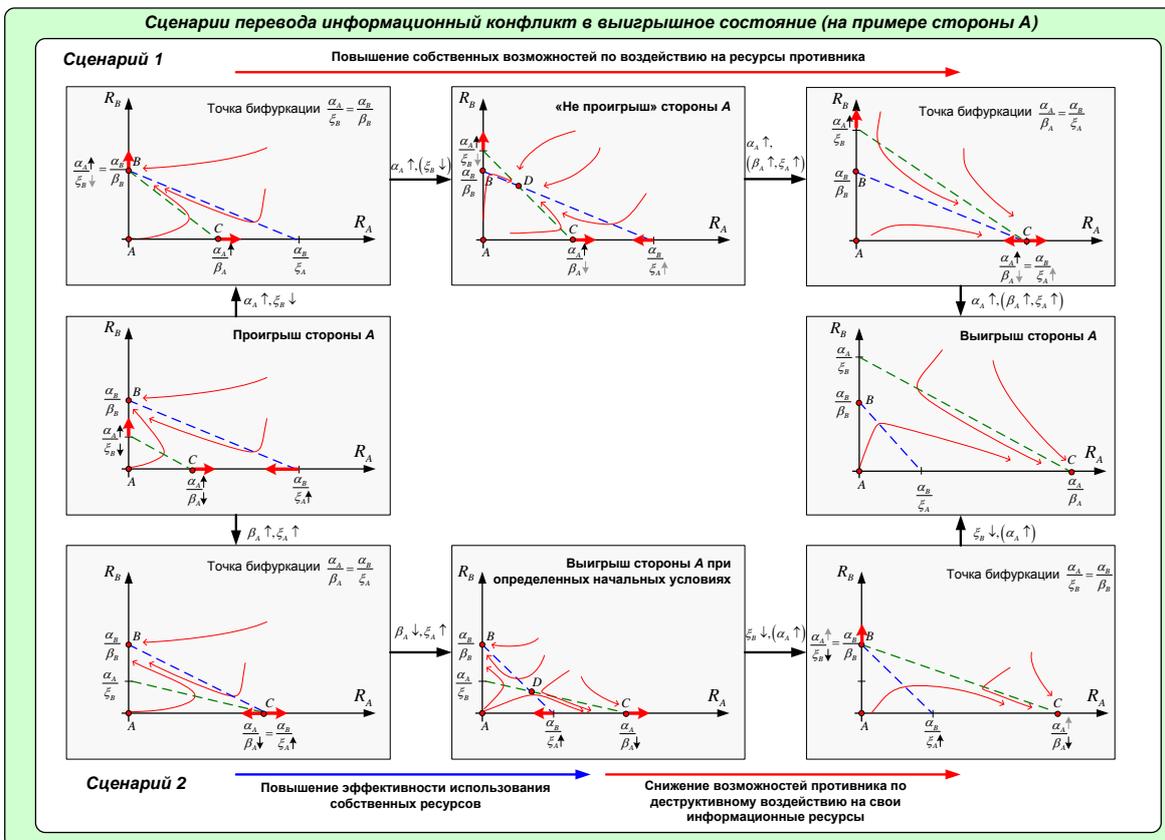
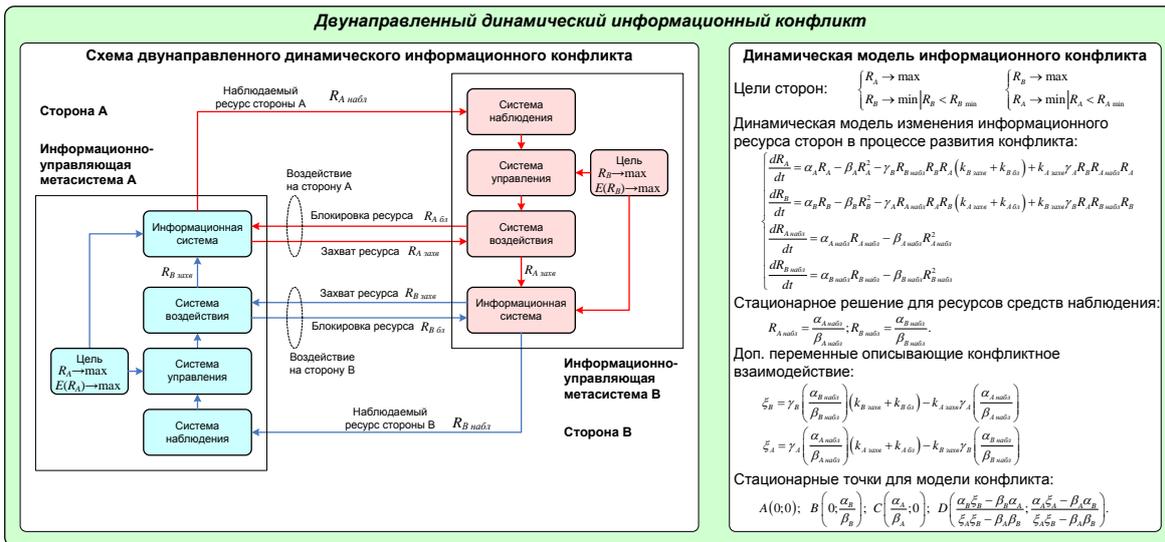
Выводы и дальнейшие направления исследований

Как показало проведенное исследование, на основе теории динамических систем возможно построение моделей информационного конфликта, учитывающих сложный характер взаимодействия между сторонами, например, учет возможностей сторон по наблюдению, захвату и блокировке информационного ресурса. В обобщенном виде схема проведения исследований с разработанной в данной статье моделью и итоговыми выводами по этому исследованию представлена на рис. 9.

При представлении информационного конфликта динамической моделью становится возможным детально исследовать развитие конфликта в зависимости от начального соотношения потенциалов сторон и параметров их информационных систем. Динамическая модель также позволяет выявить наиболее «сильные параметры» сторон, которые определяют траекторию развития конфликта, а также точки бифуркации, которые соответствуют качественному изменению состояния конфликта. На основе выявленных состояний и бифуркаций становится возможным предложить сценарии действий для сторон по переводу конфликта в выигрышное для них состояние.

К перспективным направлениям развития представленной в работе модели можно отнести следующее:

- исследование динамических многосторонних конфликтов с различными типами конфликтного взаимодействия (сотрудничество, нейтралитет, антагонистический конфликт), в основу которых можно положить популяционную модель Колмогорова [34];
- исследование динамических конфликтов с более сложными вариантами конфликтного взаимодействия средств наблюдения (например, их принадлежность нескольким типам или учет проведения маскировочных мероприятий) и более глубоким изучением влияния сценариев поведения системы наблюдения на развитие и итог информационного конфликта;
- исследование динамических конфликтов не только с воздействием типа блокировка и захват ресурса, но и с воздействиями, связанными со свойствами информационной безопасности – доступности, целостности и конфиденциальности информационных ресурсов;
- исследование отображения динамики конфликта на более высокие иерархии многоуровневых информационных систем;
- выявление и исследование хаотических режимов информационных конфликтов и разработка сценариев управления параметрами для обеспечения заданной траектории развития конфликта, а также выигрыша в подобных хаотических режимах. В основу этих исследований можно положить работы А.А Колесникова (например [21]);
- исследование устойчивости сложных многоуровневых систем в динамических информационных конфликтах, в основу которых можно положить работу [31] по динамической устойчивости многоуровневых трофических биологических систем.



Рекомендации по изменению параметров систем наблюдения и воздействия для перевода информационного конфликта в выигрышное состояние (на примере стороны А)

Сценарий 1

Повышение собственных возможностей по воздействию на противника с одновременным снижением возможностей противника по деструктивному воздействию на свои информационные ресурсы

Этап 1. $\begin{cases} \alpha_A \uparrow \\ \xi_B \downarrow = (\gamma_B \downarrow) \left(\frac{\alpha_{B \text{ захв}} \downarrow}{\beta_{B \text{ захв}} \uparrow} \right) (k_{B \text{ захв}} \downarrow + k_{B \text{ бло}} \downarrow) - (k_{A \text{ захв}} \uparrow) (\gamma_A \uparrow) \left(\frac{\alpha_{A \text{ захв}} \uparrow}{\beta_{A \text{ захв}} \downarrow} \right) \end{cases}$

Этап 2. $\begin{cases} \alpha_A \uparrow \\ \beta_A \downarrow \\ \xi_A \uparrow = (\gamma_A \uparrow) \left(\frac{\alpha_{A \text{ захв}} \uparrow}{\beta_{A \text{ захв}} \downarrow} \right) (k_{A \text{ захв}} \uparrow + k_{A \text{ бло}} \uparrow) - (k_{B \text{ захв}} \downarrow) (\gamma_B \downarrow) \left(\frac{\alpha_{B \text{ захв}} \downarrow}{\beta_{B \text{ захв}} \uparrow} \right) \end{cases}$

Сценарий 2

Повышение эффективности использования собственных ресурсов и снижением возможностей противника по деструктивному воздействию на свои информационные ресурсы

Этап 1. $\begin{cases} \beta_A \downarrow \\ \xi_A \uparrow = (\gamma_A \uparrow) \left(\frac{\alpha_{A \text{ захв}} \uparrow}{\beta_{A \text{ захв}} \downarrow} \right) (k_{A \text{ захв}} \uparrow + k_{A \text{ бло}} \uparrow) - (k_{B \text{ захв}} \downarrow) (\gamma_B \downarrow) \left(\frac{\alpha_{B \text{ захв}} \downarrow}{\beta_{B \text{ захв}} \uparrow} \right) \end{cases}$

$\alpha_A \uparrow$

Этап 2. $\begin{cases} \xi_B \downarrow = (\gamma_B \downarrow) \left(\frac{\alpha_{B \text{ захв}} \downarrow}{\beta_{B \text{ захв}} \uparrow} \right) (k_{B \text{ захв}} \downarrow + k_{B \text{ бло}} \downarrow) - (k_{A \text{ захв}} \uparrow) (\gamma_A \uparrow) \left(\frac{\alpha_{A \text{ захв}} \uparrow}{\beta_{A \text{ захв}} \downarrow} \right) \end{cases}$

$\alpha_A \uparrow$

Рис. 9. Схема исследования модели информационного конфликта

Автор выражает благодарность доктору технических наук профессору А.Г. Ломако, доктору технических наук профессору Н.Н. Толстых, кандидату технических наук Р.Л. Михайлову. Профессору А.Г. Ломако – за то, что он впервые обратил внимание автора на глубокие возможности теории динамических систем, которые позволяют моделировать динамику развития конфликта сложных систем в информационном противоборстве, а также на потенциально высокую результативность использования для дальнейших исследований в этой области теории бифуркаций и теории катастроф. Профессору Н.Н. Толстых – за научное сотрудничество и собственные материалы, в которых исследуются динамические и хаотические режимы информационных конфликтов, которые позволили автору глубже понять альтернативный подход к динамическому моделированию информационных конфликтов. Кандидату технических наук Р.Л. Михайлову – за плодотворное обсуждение важности аспекта наблюдаемости ресурсов, на которые оказывается воздействие в информационном конфликте, что позволило учесть средства наблюдения в составе итоговой модели, представленной в данной статье.

Литература

1. Будников С. А., Гревцев А. И., Иванцов А. В., Кильдюшевский В. М., Козирацкий А. Ю., Козирацкий Ю. Л., Кущев С. С., Лысиков В. Ф., Паринов М. Л., Прохоров Д. В. Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения. Монография / Под ред. Козирацкого Ю.Л. – М.: Радиотехника, 2013. – 232 с.
2. Владимиров В. И., Лихачев В. П., Шляхин В. М. Антагонистический конфликт радиоэлектронных систем. – М.: Радиотехника, 2004. – 384 с.
3. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л. Информационные конфликты – анализ работ и методологии исследования // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 3. С. 95-178. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-03/04-Makarenko.pdf> (дата обращения 17.02.2017).
4. Макаренко С. И. Динамическая модель системы связи в условиях функционально-разноуровневого информационного конфликта наблюдения и подавления // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 3. С. 122-185. – URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2015-03/07-Makarenko.pdf> (дата обращения 17.02.2017).
5. Макаренко С. И. Моделирование совместного использования ресурсов системы связи методами популяционной динамики // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т. 6. № 9. С. 63-65.
6. Макаренко С. И. Модели воздействия средств радиоэлектронной борьбы на систему связи на основе методов популяционной динамики // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 1. С. 96-99.
7. Стародубцев Ю. И., Бухарин В. В., Семенов С. С. Техносферная война // Военная мысль. 2012. № 7. С. 22-31.

8. Стародубцев Ю. И., Бухарин В. В., Семенов С. С. Техносферная война // Информационные системы и технологии. 2011. № 1. С. 80-85.
9. Стародубцев Ю. И., Семенов С. С., Бухарин В. В. Техносферная война // Научно-информационный журнал Армия и общество. 2010. № 4. С. 6-11.
10. Семенов С. С., Гусев А. П., Барботько Н. В. Оценка информационно-боевого потенциала сторон в техносферных конфликтах // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2013. Т. 5. № 6. С. 10-21.
11. Асосков А. Н., Малышева И. Н. К вопросу о синтезе алгоритма управления инфокоммуникационной системы в условиях информационного конфликта // Теория и техника радиосвязи. 2011. № 4. С. 19-26.
12. Алферов А. Г., Белицкий А. М., Степанец Ю. А., Толстых Н. Н. Перехват управления инфокоммуникационных систем // Теория и техника радиосвязи. 2014. № 4. С. 5-13.
13. Алферов А. Г., Власов Ю. Б., Толстых И. О., Толстых Н. Н., Челядинов Ю. В. Формализованное представление эволюционирующего информационного конфликта в телекоммуникационной системе // Радиотехника. 2012. № 8. С. 27-33.
14. Алферов А. Г., Толстых И. О., Толстых Н. Н., Поздышева О. В., Мордовин А. И. Устойчивость инфокоммуникационных систем в условиях информационного конфликта // Информация и безопасность. 2014. Т. 17. № 4. С. 558-567.
15. Алферов А. Г., Мордовин А. И., Толстых Н. Н., Поздышева О. В. Эффективность систем управления связью при ограничении ресурса в режиме информационного конфликта // Информация и безопасность. 2014. Т. 17. № 4. С. 548-557.
16. Остапенко Г. А., Плотников Д. Г., Гузев Ю. Н. Особенности конфликтологии взвешенных сетей: понятие сетевого конфликта // Информация и безопасность. 2016. Т. 19. № 1. С. 136-137.
17. Остапенко Г. А., Плотников Д. Г., Гузев Ю. Н. Формализация описания сетевого конфликта // Информация и безопасность. 2016. Т. 19. № 2. С. 232-237.
18. Остапенко Г. А., Плотников Д. Г., Гузев Ю. Н. Стратегии сетевого противоборства // Информация и безопасность. 2016. Т. 19. № 2. С. 250-253.
19. Остапенко Г. А., Плотников Д. Г., Гузев Ю. Н. Динамика развития сетевого конфликта // Информация и безопасность. 2016. Т. 19. № 2. С. 278-279.
20. Белый А. Ф. Метод анализа двусторонних процессов информационного противодействия в критически важной информационной системе на основе моделей динамики средних // Безопасность информационных технологий. 2011. № 3. С. 5-9.
21. Борзенков А. В., Анисеев А. А., Борзенков В. А., Русакович А. А. К исследованию математической модели локальной информационной WWW безопасности в терминах системы дифференциальных уравнений // Технологии информатизации и управления. – URL:

http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/97751/1/Борзенков_Аникеев.pdf (дата обращения 27.02.2017).

22. Веселов Г. Е., Колесников А. А. Синергетический подход к обеспечению комплексной безопасности сложных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 4 (129). С. 8-18.

23. Михайлов Р. Л., Ларичев А. В., Смыслова А. Л., Леонов П. Г. Модель распределения ресурсов в информационном конфликте организационно-технических систем // Вестник Череповецкого государственного университета. 2016. № 6. С. 24-29.

24. Надеждин Е. Н. Оценка эффективности механизма защиты сетевых ресурсов на основе игровой модели информационного противоборства // Научный вестник. 2015. № 2 (4). С. 49-58. doi: 10.17117/nv.2015.02.049

25. Петров А. П., Маслов А. И., Цаплин Н. А. Моделирование выбора позиций индивидами при информационном противоборстве в социуме // Математическое моделирование. 2015. Т. 27. № 12. С. 137-148.

26. Семенова И. И., Мишуринов А. О. Система управления моделями в области информационного противоборства // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. Т. 4. № 1 (49). С. 150-160.

27. Шведовский В. А., Петрова М. А. Математическое моделирование напряженности этно-политического конфликта // Социология: методология, методы, математическое моделирование. 2001. № 14. С. 151-175.

28. Шведовский В. А. Динамическая модель электорального поведения // Математическое моделирование. 2000. Т. 12. № 8. С. 46-56.

29. Udawadia F., Leitmann G. E., Lambertini L. A Dynamical model of terrorism // Discrete Dynamics in Nature and Society. 2006. Vol. 2006. Article ID 85653. Pp. 1-32. doi: 10.1155/DDNS/2006/85653

30. Базыкин А. Д. Нелинейная динамика взаимодействующих популяций. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 368 с.

31. Саирежев Ю. М. Логофет Д. О. Устойчивость биологических сообществ. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1978. – 352 с.

32. Гиммельфарб А. А., Гинзбург Л. Р., Полуэктов Р. А., Пых Ю. А., Ратнер В. А. Динамическая теория биологических популяций / Под редакцией Р.А. Полуэктова. – М.: Наука, 1974. – 456 с.

33. Меншуткин В. В. Математическое моделирование популяций и сообществ водных животных. – Л.: Наука, 1971. – 196 с.

34. Братусь А. С., Новожилов А. С., Платонов А. П. Динамические системы и модели биологии. – М.: Физико-математическая литература, 2009. – 400 с.

35. Дорошин А. В. Математическое моделирование в нелинейной динамике: учеб. пособие. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. – 100 с.

36. Бондарчук С. С., Перевозкин В. П. Математическое моделирование в популяционной экологии. Учебное пособие. – Томск, Томский государственный педагогический университет. 2014. – 233 с.

37. Трубецков Д. И. Феномен математической модели Лотки-Вольтерры и сходных с ней // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2011. Т. 19. № 2. С. 69-88.

38. Колпак Е. П., Горыня Е. В., Крылова В. А., Полежаев Д. Ю. Математическая модель конкуренции двух популяций на линейном ареале // Молодой учёный. 2014. № 12 (71). С. 12-22.

39. Кольцова Э. М., Третьяков Ю. Д., Гордеев Л. С., Вертегел А. А. Нелинейная динамика и термодинамика необратимых процессов в химии и химической технологии. – М.: Химия, 2001. – 408 с.

40. Баутин Н. Н., Леонтович Е. А. Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости. – М.: Наука, 1990. – 486 с.

41. Мануйлов Ю. С., Новиков Е. А. Преобразование и исследование математических моделей динамических систем. Учебное пособие / Под ред. Ю.С. Мануйлов. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского. – 344 с.

References

1. Budnikov S. A., Grevtsev A. I., Ivantsov A. V., Kil'diushevskii V. M., Koziratskii A. Iu., Koziratskii Iu. L., Kushchev S. S., Lysikov V. F., Parinov M. L., Prokhorov D. V. *Modeli informatsionnogo konflikta sredstv poiska i obnaruzheniia. Monografiia* [Model information conflict of search and discovery. Monograph]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2013. 232 p. (in Russian).

2. Vladimirov V. I. Likhachev V. P., Shliakhin V. M. *Antagonisticheskii konflikt radioelektronnykh sistem* [Antagonistic conflict radio-electronic systems]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2004. 384 p. (in Russian).

3. Makarenko S. I., Mikhailov R. L. Information Conflicts – Analysis of Papers and Research Methodology. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 3, pp. 95-178. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-03/04-Makarenko.pdf> (accessed 17 February 2017) (in Russian).

4. Makarenko S. I. Dynamic Model of Communication System in Conditions the Functional Multilevel Information Conflict of Monitoring and Suppression. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 3, pp. 122-185. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2015-03/07-Makarenko.pdf> (accessed 17 February 2017) (in Russian).

5. Makarenko S. I. The Model of the Resource Distribution for Communication System by the Dynamics Population Methods. *Vestnik Voronejskogo gosudarstvennogo technicheskogo universiteta*, 2010, vol. 6, no 9, pp. 63-65 (in Russian).

6. Makarenko S. I. The Models of Influence of the Radio-Electronic Countermeasures Equipment on the Communication System by the Population Dynamic Methods. *Vestnik Voronejskogo gosudarstvennogo technicheskogo universiteta*, 2011, vol. 7, no 1, pp. 96-99 (in Russian).

7. Starodubtsev Ju. I., Bukharin V. V., Semenov S. S. Tekhnosfernaia voina [Techno War]. *Military Thought*, 2012, no. 7. pp. 22-31 (in Russian).
8. Starodubtsev Ju. I., Bukharin V. V., Semenov S. S. Technospherny war. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii*, 2011, no. 1, pp. 80-85 (in Russian).
9. Starodubtsev Ju. I., Bukharin V. V., Semenov S. S. Techno War. *Nauchno-informatsionnyi zhurnal Armiia i obshchestvo*, 2010, no. 4, pp. 6-11 (in Russian).
10. Semenov S. S., Gusev A. P., Barbotko N. V. Assessment Information the Combat Potential of the Parties in Technosphere Conflicts. *High Tech in Earth Space Research*, 2013, vol. 5, no. 6, pp. 10-21 (in Russian).
11. Asoskov A. N., Malysheva I. N. On infocommunication system management algorithm synthesis under information conflict conditions. *Teoriia i tekhnika radiosviazi*, 2011, no. 4, pp. 19-26 (in Russian).
12. Alfeyorov A. G., Belitsky A. M., Stepanets Yu. A., Tolstykh N. N. Infocommunicational system control interception. *Teoriia i tekhnika radiosviazi*, 2014, no. 4, pp. 5-13 (in Russian).
13. Alferov A. G., Vlasov J. B., Tolstykh I. O., Tolstykh N. N., Chelajdinov J. V. The formalized representation of the evolving information conflict in telecommunication system. *Radiotekhnika*, 2012, no. 8. pp. 27-33 (in Russian).
14. Alferov A. G., Tolstykh I. O., Tolstykh N. N., Pozdysheva O. V., Mordovin A. I. Ustochivost' infokommunikatsionnykh sistem v usloviakh informatsionnogo konflikta [Sustainability of information and communication systems in terms of information conflict]. *Informatsiia i bezopasnost*, 2014, vol. 17, no. 4, pp. 558-567 (in Russian).
15. Alferov A. G., Mordvin A. I., Tolstykh N. N., Pozdysheva O. V. Spectacular relationship management systems with limited resources sa a news conflict. *Information and security*, 2014, vol. 17, no. 4, pp. 548-557 (in Russian).
16. Ostapenko G. A., Plotnikov D. G., Guzev Yu. N. Features of conflictology of the weighed networks: concept of the network conflict. *Informatsiia i bezopasnost*, 2016, vol. 19, no. 1, pp. 136-137 (in Russian).
17. Ostapenko G. A., Plotnikov D. G., Guzev Yu. N. Formalization of the description of the network conflict. *Informatsiia i bezopasnost*, 2016, vol. 19, no. 2, pp. 232-237 (in Russian).
18. Ostapenko G. A., Plotnikov D. G., Guzev Yu. N. Strategy of network oppositon. *Informatsiia i bezopasnost*, 2016, vol. 19, no. 2, pp. 250-253 (in Russian).
19. Ostapenko G. A., Plotnikov D. G., Guzev Yu. N. Dynamics of development of the network conflict. *Informatsiia i bezopasnost*, 2016, vol. 19, no. 2, pp. 278-279 (in Russian).
20. Belyi A. F. Metod analiza dvustoronnikh protsessov informatsionnogo protivodeistviia v kriticheski vazhnoi informatsionnoi sisteme na osnove modelei dinamiki srednikh [The method of analysis of the bilateral processes of information counteraction in mission-critical information system on the basis of models of the dynamics of average]. *IT Security*, 2011, no. 3, pp. 5-9 (in Russian).
21. Borzenkov A. V., Anikeev A. A., Borzenkov V. A., Rusakovich A. A. K issledovaniiu matematicheskoi modeli lokal'noi informatsionnoi WWW bezopasnosti v terminakh sistemy differentsial'nykh uravnenii [To the study of mathematical

models of the WWW local information security in terms of systems of differential equations]. *Tekhnologii informatizatsii i upravleniia*. Available at: http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/97751/1/Борзенков_Аникеев.pdf (accessed 27 February 2017) (in Russian).

22. Veselov G. E., Kolesnikov A. A. Sinergeticheskii podkhod k obespecheniiu kompleksnoi bezopasnosti slozhnykh sistem [A synergistic approach to ensuring overall security of complex systems]. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2012, vol. 129, no. 4, pp. 8-18 (in Russian).

23. Mikhailov R. L., Larichev A. V., Smyslova A. L., Leonov P. G. Model of resource allocation in information conflict of complicated organizational and technical systems. *Cherepovets state university bulletin*, 2016, no. 6, pp. 24-29 (in Russian).

24. Nadezhdin E. N. Evaluation of the effectiveness of the protection mechanism of network resources based gaming model of information warfare. *Science Bulletin*, 2015, vol. 4, no. 2, pp. 49-58. doi: 10.17117/nv.2015.02.049 (in Russian).

25. Petrov A. P., Maslov A. I., Tsaplin N. A. Modeling of Making Choices by Individuals During Information Warfare in Society. *Mathematical Models and Computer Simulations*, 2015, vol. 27, no. 12, pp. 137-148. (in Russian).

26. Semenova I. I., Mishurin A. O. Management System Model of Information Counterforce. *Vestnik Saratov State Technical University*, 2010, vol. 4, no. 1, pp. 150-160. (in Russian).

27. Shvedovskii V. A., Petrova M. A. Matematicheskoe modelirovanie napriazhennosti etno-politicheskogo konflikta [Mathematical modeling of the tension of ethno-political conflict]. *Sociology: methodology, methods, mathematical modeling*, 2001, no. 14, pp. 151-175 (in Russian).

28. Shvedovskii V. A. Dinamicheskaiia model' elektoral'nogo povedeniia [A dynamic model of electoral behavior]. *Mathematical Models and Computer Simulations*, 2000, vol. 12, no. 8, pp. 46-56 (in Russian).

29. Udvardi F., Leitmann G. E., Lambertini L. A Dynamical model of terrorism. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2006, vol. 2006, article ID 85653, pp. 1-32. doi: 10.1155/DDNS/2006/85653

30. Bazykin A. D. *Nelineinaia dinamika vzaimodeistvuiushchikh populiatsii* [Nonlinear dynamics of interacting populations]. Moscow, Institute of computer science, 2003. – 368 p. (in Russian).

31. Sairezhev Iu. M., Logofet D. O. *Ustoichivost' biologicheskikh soobshchestv* [Stability of biological communities]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 352 p. (in Russian).

32. Gimmel'farb A. A., Ginzburg L. R., Poluektov R. A., Pykh Iu. A., Ratner V. A. *Dinamicheskaiia teoriia biologicheskikh populiatsii* [Dynamic theory of biological populations]. Moscow, Nauka Publ., 1974. 456 p. (in Russian).

33. Menshutkin V. V. *Mathematical Modelling of Populations and Aquatic Faunal Communities*. Leningrad, Publishing House «Nauka», 196 p. (in Russian).

34. Bratus A. S., Novozhilov A. S., Platonov A. P. *Dinamicheskie sistemy i modeli biologii* [Dynamical systems and models of biology]. Moscow, Fiziko-matematicheskaya literatura Publ., 2009. 400 p. (in Russian).
35. Doroshin A. V. *Matematicheskoe modelirovanie v nelineinoi dinamike* [Mathematical modeling in nonlinear dynamics]. Samara, Samara State Aerospace University Publ., 2008. 100 p. (in Russian).
36. Bondarchuk S. S., Perevozkin V. P. *Matematicheskoe modelirovanie v populiatsionnoi ekologii* [Mathematical modelling in population ecology]. – Tomsk, Tomsk State Pedagogical University. 2014. 233 p. (in Russian).
37. Trubetskov D. I. Phenomenon of Lotka–Volterra Mathematical Model and Similar Models. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*, 2011, vol. 19, no. 2, pp. 69-88. (in Russian).
38. Kolpak E. P., Gorynia E. V., Krylova V. A., Polezhaev D. Iu. Matematicheskaya model' konkurentsii dvukh populiatsii na lineinom areale [A mathematical model of competition of two populations along a linear habitat]. *Young Scientist*, 2014, vol. 71, no. 12, pp. 12-22 (in Russian).
39. Kol'tsova E. M., Tret'iakov Iu. D., Gordeev L. S., Vertegel A. A. *Nelineinaya dinamika i termodinamika neobratimyykh protsessov v khimii i khimicheskoi tekhnologii* [Nonlinear dynamics and thermodynamics of irreversible processes in chemistry and chemical technology]. Moscow, Khimiya Publ., 2001. 408 p. (in Russian).
40. Bautin N. N., Leontovich E. A. *Metody i priemy kachestvennogo issledovaniia dinamicheskikh sistem na ploskosti* [Methods and techniques of qualitative research of dynamic systems on a plane]. Moscow, Nauka Publ., 1990. – 486 p. (in Russian).
41. Manuilov Iu. S., Novikov E. A. *Preobrazovanie i issledovanie matematicheskikh modelei dinamicheskikh sistem* [Conversion and study of mathematical models of dynamic systems]. Saint Petersburg, Mozhaisky Military Space Academy. 344 p. (in Russian).

Статья поступила 1 марта 2017 г.

Информация об авторе

Макаренко Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент. Доцент кафедры сетей и систем связи космических комплексов. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: устойчивость сетей и систем связи к преднамеренным деструктивным воздействиям; радиоэлектронная борьба; информационное противоборство. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Адрес: Россия, 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская д. 13.

Dynamic Model of the Bi-directional Information Conflict to Take into Account Capabilities of Monitoring, Capturing and Locking of Information Resources

S. I. Makarenko

Statement of the problem. Means of destructive impacts on the information systems are improving so the scientific-methodical apparatus of protection for the information conflict should be developed also. Dynamic and transitional processes in the information conflict have been incompletely researched currently. Although, some researchers indicate what the information resource can be captured and redistributed in the course of the conflict. But these processes have not been researched yet. Therefore, the analysis of dynamic processes in the conflict information systems is a topical area of research. **The aim of this paper** is to develop the dynamic model of the bi-directional information conflict to take into account capabilities of monitoring, capturing and locking of information resources. Whereas each of the conflicting systems consist of several subsystems. These are the monitoring subsystem, the capturing subsystem, the blocking information resource subsystem and the normal information subsystem. **Methods used.** The theory of population dynamics which simulate the competition of different species in the process of evolution was used as a basis for model of the information conflict. Methods of the theory of dynamical systems were used to develop mathematical model of information conflict and its research. Model of information conflict is the system of four nonlinear differential equations. **Novelty.** The novelty of the model is to take into account the capabilities of monitoring, capturing and locking of information resources in the dynamics process of development of information conflict. **Results.** The result of the research by model is to identify several of the typical states of conflict and the bifurcation points where conflict changes its state. In bifurcation point one of the conflicting parties can change the development trajectory of the conflict and so this party will have possibility to win. The action scenarios of one of the parties to achieve winning in the conflict are based on the research by model. A typical scenario of action for one of the parties was analyzed, to determine the most "strong" parameters of this party, and the change directions the parameters to ensure winning. **Practical significance.** The model of informational conflict can be used a large number of conflicts between the real information-technology systems in several areas. These areas are electronic warfare, radio monitoring, and information warfare. The scenarios what are presented in the paper can be used to improve software of the real technical systems for their winning in the dynamic information conflict.

Key words: conflict, dynamic conflict, information conflict, information resource, electronic warfare, radio monitoring, information warfare, cyberattack.

Information about Author

Sergey Ivanovich Makarenko – Ph.D. of Engineering Sciences, Docent. Associate Professor at the Department of Networks and Communication Systems of Space Systems. Mozhaisky Military Space Academy. Field of research: stability of network against the purposeful destabilizing factors; electronic warfare; information struggle. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Address: Russia, 197198, Saint Petersburg, Zhdanovskaya ulica, 13.

УДК 621.396

Модель гибкого обслуживания трафика сложной структуры и алгоритм оперативного резервирования дополнительных каналов в земных станциях спутниковой связи

Новиков Е. А., Зиннуров С. Х.

Актуальность. В настоящее время наблюдается повышенный спрос на услуги переноса мультимедийного контента, телефонной и видеосвязи и передачи данных, который в ряде случаев может быть удовлетворен только за счет использования сетей спутниковой связи. Формируемая при этом нагрузка на сеть связи (трафик), как правило, имеет сложную структуру. Обширность зон обслуживания сетей спутниковой связи с одной стороны, и принципиальная ограниченность орбитального радиоресурса, с другой стороны, требуют оперативного управления радиоресурсом с целью повышения эффективности его использования. Одним из путей повышения эффективности использования радиоресурса является уплотнение спутниковых радиолиний с учетом статистических характеристик передаваемого трафика и режимов работы спутникового модема. **Целью работы** является разработка модели гибкого обслуживания трафика сложной структуры и алгоритма оперативного резервирования дополнительных каналов в земных станциях при вариации трафика, поступающего от различных абонентов земной станции, позволяющей повысить эффективность использования радиоресурса (пропускной способности, выраженной в числе доступных каналов) сети спутниковой связи за счет оперативного резервирования канального радиоресурса. **Результаты:** сформулирована задача оперативного резервирования дополнительных каналов в виде задачи нелинейного программирования и приведен пример ее решения при обслуживании трафика сложной структуры, формируемого группой абонентов. **Новизна** подхода состоит в том, разработана новая модель гибкого обслуживания трафика сложной структуры земной станцией, отличающаяся от известных учетом динамики изменения пропускной способности при смене режимов работы модемного оборудования. Разработанная модель в виде четырехмерной марковской цепи была получена на основе расширения пространства состояний с использованием моделей изменения конфигурации модемного оборудования, группового источника трафика сложной структуры, процесса резервирования канального ресурса с запаздыванием, а также процесса обслуживания трафика одноканальной системой. В качестве ограничений приняты допущения об экспоненциальных законах распределения продолжительности периодов активности и пауз абонентов, задержки в подключении дополнительного канального ресурса, длительностей передачи отдельных сообщений и интервалов между ними и длительностей интервалов времени перестройки модемного оборудования. На основе разработанной модели предложен алгоритм оперативного резервирования дополнительных каналов земной станцией, отличающийся от известных учетом текущего распределения канального ресурса, и позволяющий в случае существенного увеличения мощности множества альтернатив найти оптимальный момент подключения дополнительного канала. Приведен пример решения поставленной задачи. **Практическая значимость.** Совокупность полученных результатов в виде модели гибкого обслуживания трафика сложной структуры и алгоритма оперативного резервирования дополнительных каналов позволит повысить пропускную способность сети спутниковой связи на 10-40% при обеспечении заданного качества обслуживания абонентов.

Библиографическая ссылка на статью:

Новиков Е. А., Зиннуров С. Х. Модель гибкого обслуживания трафика сложной структуры и алгоритм оперативного резервирования дополнительных каналов в земных станциях спутниковой связи // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 98–115.
URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/07-Novikov.pdf>

Reference for citation:

Novikov E. A., Zinnurov S. Kh. Flexible Service Model of Complex Traffic and Real-time Algorithm of Channel Reserve for Satellite Earth Stations. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 98–115. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/07-Novikov.pdf> (in Russian).

Ключевые слова: спутник-ретранслятор, радиоресурс, земная станция, прерываемый пуассоновский поток, модулированный марковский процесс, оперативное резервирование, трафик сложной структуры.

Введение

В современных условиях важное место в телекоммуникационной инфраструктуре занимают сети спутниковой связи (ССС). Применение СССР при организации доступа к современным инфокоммуникационным услугам для абонентов, находящихся в труднодоступных и удаленных регионах является безальтернативным. При этом возрастающий уровень автоматизации приводит к значительному росту передаваемых информационных потоков, а также качественному изменению их структуры. Такие информационные потоки предъявляют существенно различающиеся и все более жесткие требования к качеству обслуживания. Так, допустимая задержка в доставке пакетов, генерируемых приложениями реального времени, например, IP-телефонии, сопоставима со временем распространения радиосигнала до спутника-ретранслятора (СР) на геостационарной орбите, а при передаче данных допускаются значительные задержки, но исключаются потери данных [1]. Известно, что доля трафика реального времени (речь, видеоконференцсвязь, передача данных), передаваемого с использованием СССР составляет до 60% от общего объема передаваемой информации [2, 3]. Известные технические решения, применяемые при распределении ограниченного частотно-временного радиоресурса СР, имеют ряд недостатков. Одним из них является то, что предоставление радиоресурса происходит под пиковые значения интенсивности информационного потока без учета статистических характеристик передаваемого трафика, что выражается в недоиспользовании радиоресурса при общем его дефиците.

Неотъемлемой составной частью бортового ретрансляционного комплекса современного СР является система адаптивной помехозащиты, основной задачей которой является удержание вероятности ошибочного приема на заданном уровне за счет адаптивной перестройки модемной конфигурации, а именно выбора оптимальных сочетаний вида модуляции и скорости помехозащищенного кодирования. На рис. 1 показана расчетная зависимость конфигурации модемного оборудования земной станции (ЗС) от помеховой обстановки для стандарта DVB-S [4]. Последовательное изменение вида модуляции и скорости кодирования, с одной стороны, позволяет удержать вероятность ошибки на бит на заданном уровне, а с другой стороны, снижает информационную скорость в канале спутниковой связи, что проявляется в снижении пропускной способности, выраженной в числе каналов на сетевом уровне. На рис. 1 ρ – отношение числа виртуальных каналов связи, организуемых мультиплексором ЗС, к числу стандартных физических каналов мультиплексора ЗС.

В этой связи возникает проблемная ситуация, которая состоит в невозможности удовлетворить требования по объемам информации и качеству обслуживания (QoS) абонентов СССР вследствие ограниченности радиоресурса

СР. Одним из путей решения сформулированного противоречия является уплотнение спутниковых радиолиний с учетом статистических характеристик передаваемого мультисервисного трафика и режимов работы спутникового модема. Решение данной задачи осложнено разнородностью структуры трафика, формируемого различными приложениями, а также необходимостью учета изменений пропускной способности ЗС в условиях изменения режимов работы спутникового модема. Достижимый в результате статистического уплотнения эффект экономии пропускной способности ΔC по сути и составляет выигрыш в пропускной способности. Для компенсации запаздывания в управлении текущий ресурс, закрепляемый за конкретной ЗС, предоставляется с некоторым запасом (резервом), который способен обеспечить требуемое качество обслуживания при внезапном повышении интенсивности нагрузки.

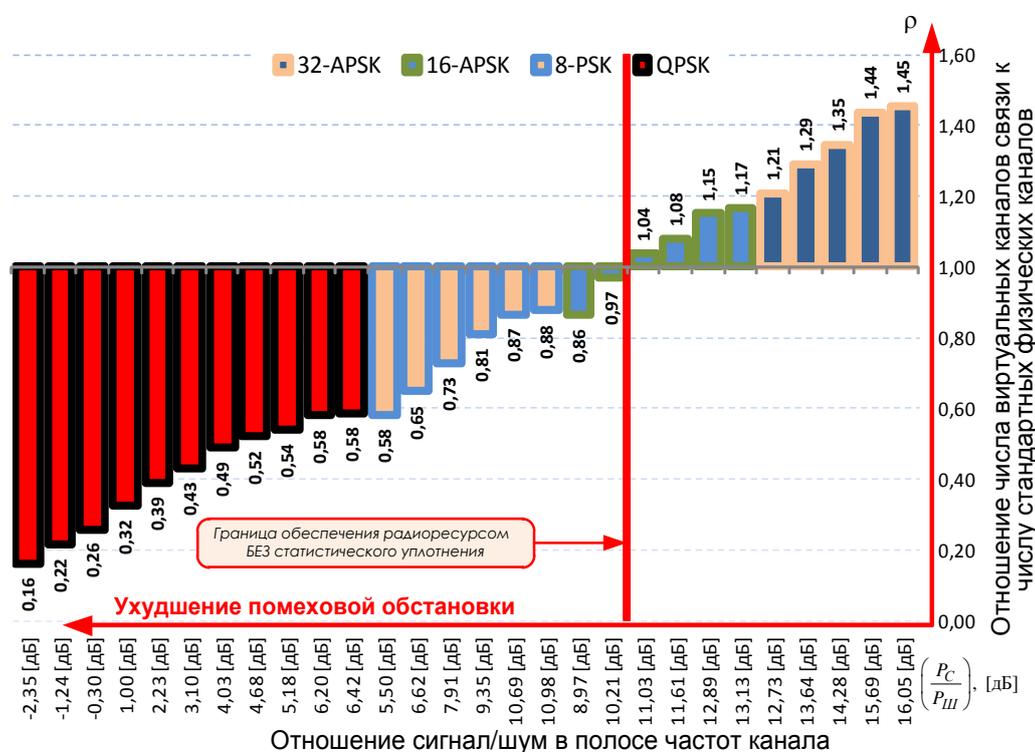


Рис. 1. Изменение конфигурации модемного оборудования ЗС в зависимости от помеховой обстановки

Разработка модели гибкого обслуживания

трафика сложной структуры земной станцией спутниковой связи

Существующие технические решения по распределению радиоресурса ССС ориентированы на поддержание допустимого качества обслуживания на интервалах времени наибольшей нагрузки и не обеспечивают высокую эффективность использования радиоресурса СР на интервалах времени «простоя». При снижении нагрузки радиоресурс используется не полностью, так как радиоресурс предоставляется из расчета на пиковые значения интенсивности нагрузки. Разрешение указанного противоречия требует построения особого класса моделей, которые, с одной стороны, способны

учитывать статистические свойства трафика, его разнородность, а с другой стороны, изменение режимов работы модемного оборудования ЗС.

При использовании пакетной формы представления различных видов информации появляется возможность совместной передачи речевого трафика, видео трафика, трафика данных от нескольких абонентов в едином цифровом потоке. Из-за разнородности источников передаваемой информации, обоснованно предъявляются различные требования по качеству обслуживания (QoS) соответствующего вида трафика. Кроме того, существуют категории абонентов, которые требуют приоритетного обслуживания при организации связи с использованием ССС, что предполагает разделение передаваемого трафика по приоритетам. Следовательно, понятие мультисервисный трафик – является комплексным, и включает в себя нагрузку, создаваемую потоком разнородных вызовов, сообщений и сигналов в сети связи, способной обеспечить требуемое качество (сервис) для каждого вида передаваемой информации с учетом приоритетов передаваемого трафика.

Анализ работ по исследованию структуры трафика, передаваемого в современных сетях связи, показал его существенное отличие от простейшего потока. Передаваемый трафик характеризуется отсутствием стабилизации его статистических характеристик, как на малых, так и на больших масштабах времени и наличием долговременных корреляционных зависимостей [5, 6]. В работе [7] показано, что мультисервисный трафик является трафиком *сложной структуры*. При этом под *трафиком сложной структуры* понимается трафик, у которого коэффициент вариации c_τ интервалов времени между поступающими пакетами имеет значение $\sigma_\tau / m_\tau = c_\tau > 1$, где τ - интервал времени между пакетами трафика, m_τ - математическое ожидание значений интервалов времени между поступлением пакетов трафика; σ_τ - среднее квадратическое отклонение значений интервалов времени между поступлением пакетов трафика. В работе [7] также показано, что трафик с коэффициентом вариации $c_\tau > 1$ можно представить в виде аппроксимации с гиперэкспоненциальным распределением второго порядка $H_2(\lambda_1, \lambda_2, p)$, которое образуется двумя экспоненциальными фазами. В работе [8] показано, что распределение интервалов времен между пакетами по гиперэкспоненциальному закону $H_2(\lambda_1, \lambda_2, p)$ является частным случаем марковского модулированного пуассоновского процесса (ММП) $f(\lambda, \alpha, \beta)$ и между параметрами этих распределений может быть найдено однозначное соответствие в следующем виде:

$$\lambda = p_H \lambda_{H_1} + (1 - p_H) \lambda_{H_2}.$$

$$\alpha = p_H (1 - p_H) (\lambda_{H_1} - \lambda_{H_2})^2 / \lambda.$$

$$\beta = \lambda_{H_1} \lambda_{H_2} / \lambda.$$

Таким образом, использование моделей ММП позволяет получить модель трафика сложной структуры, оставаясь при этом в рамках математического аппарата марковских процессов гибели и размножения, а

допущение об экспоненциальных законах распределения периодов активности и пауз абонента, запаздывания в управлении, обусловленным задержкой распространения радиосигнала в линии спутниковой связи, а также периодов перестройки режимов работы модемного оборудования, позволяет получить решение поставленной задачи в аналитическом виде [9, 10, 11].

Частным случаем таких марковских модулированных пуассоновских процессов являются модели прерываемых пуассоновских процессов (ON-OFF модели), которые используются для моделирования отдельного источника трафика. Граф модели прерываемого пуассоновского процесса представлен на рис. 2. Каждый источник трафика имеет следующую структуру. В период активности (ON-периоды) источник генерирует пуассоновский поток пакетов. После периода активности следует пауза (OFF-период), когда источник не генерирует пакеты. Длительности периодов активности и пауз являются случайными величинами, распределенными по экспоненциальному закону. Комбинация нескольких таких ON-OFF источников образует прерываемый пуассоновский процесс, интенсивность которого изменяется во времени, что позволяет учесть нестационарность реальных входных потоков.

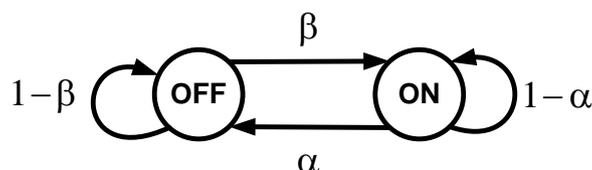


Рис. 2. Граф модели прерываемого пуассоновского процесса

При разработке модели изменения режимов работы модемного оборудования использовалось допущение об экспоненциальном распределении периодов перестройки модемного оборудования, что позволило представить процесс изменения режимов работы модемного оборудования в виде марковской цепи (рис. 3). На рис. 3 представлена модель процесса изменения конфигурации модемного оборудования, в качестве примера рассматриваются следующие варианты использования сигнально-кодовых конструкций в зависимости от уровня помех в линии связи ЗС – СР: QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK [4]. Элементу пространства состояний ставится в соответствие вид модуляции и скорость кодирования модемного оборудования, которая определяет интенсивность обработки данных в канале спутниковой связи ($\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$). При этом время, необходимое для перестройки модемного оборудования оценивалось на основе тестирования функционирования спутникового модема ЗС.

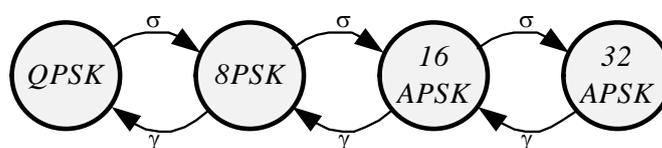


Рис. 3. Граф модели изменения режимов работы модемного оборудования

Интенсивность перестройки модема (σ, γ) является величиной обратно пропорциональной среднему времени перестройки модема: $\sigma = 1/\bar{T}_{n1}$, $\gamma = 1/\bar{T}_{n2}$, где \bar{T}_{n1} – среднее время, необходимое для изменения конфигурации модема при изменении помеховой обстановки в канале связи и смене сигнально-кодовой конструкции, и, как следствие, увеличения скорости передачи данных; \bar{T}_{n2} – среднее время, необходимое для изменения конфигурации модема при изменении помеховой обстановки в канале связи и смене сигнально-кодовой конструкции, и, как следствие, уменьшения скорости передачи данных.

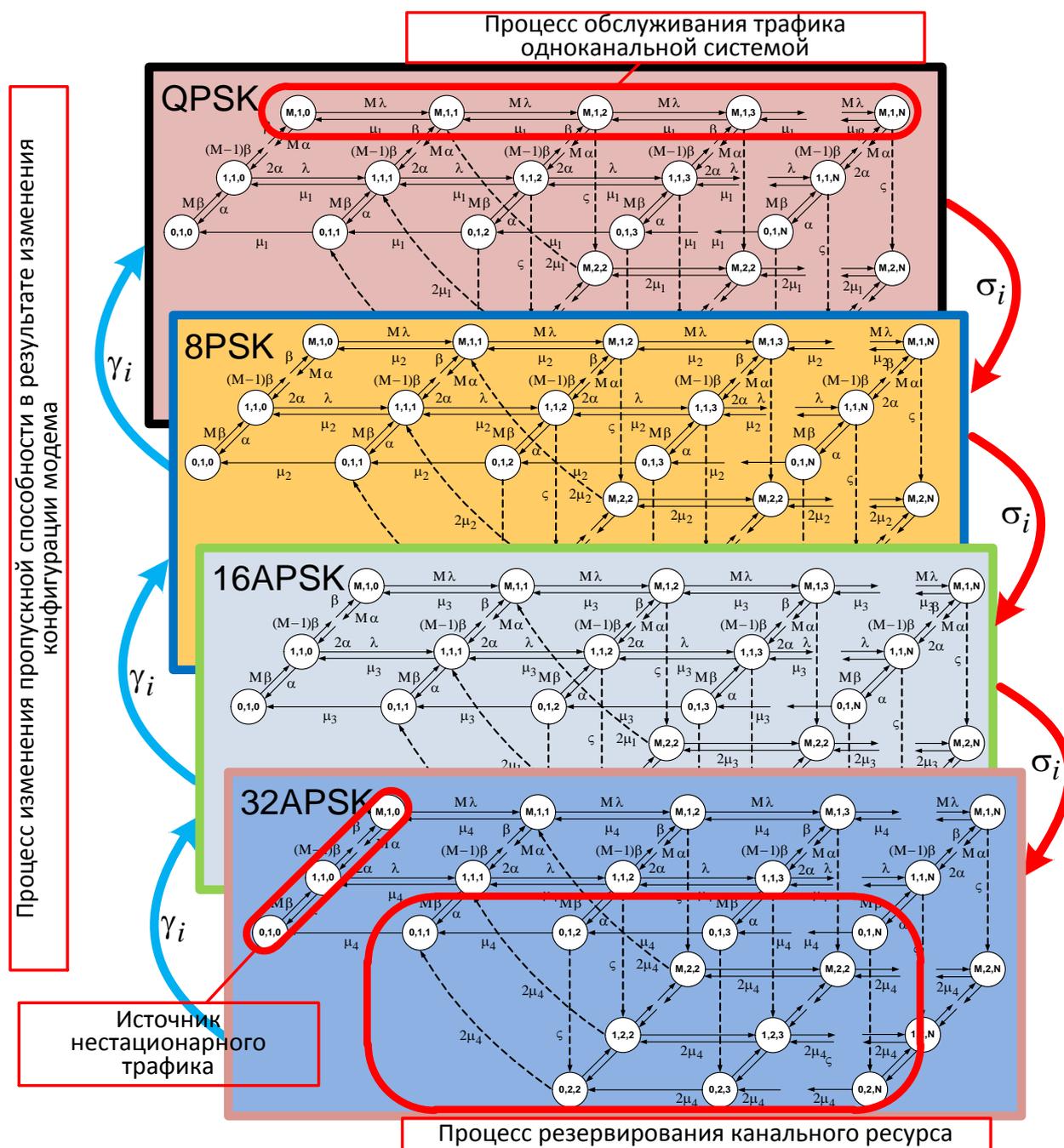


Рис. 4. Граф модели гибкого обслуживания трафика сложной структуры ЗС

Модель резервирования канального ресурса одноканальной системой была ранее рассмотрена в работах [12, 13, 14], однако в данной модели не было учтено изменение режимов работы модемного оборудования. В работе [15], были рассмотрены вопросы организации статистического уплотнения передаваемого трафика в каналообразующей аппаратуре ЗС. Однако в данной работе не учитывалась сложная структура передаваемого трафика. Допущение об экспоненциальных законах распределения длительностей передачи и поступления речевых пакетов, периодов активности и пауз абонента, запаздывания в управлении и изменении режимов работы спутникового модема позволило за счет расширения пространства состояний получить модель гибкого обслуживания трафика сложной структуры ЗС, и представить моделируемый процесс в виде четырехмерной цепи Маркова (рис. 4).

Интенсивности переходов между состояниями графа на рис. 4:

λ – интенсивность поступления пакетов;

μ – интенсивность обслуживания пакетов;

γ – интенсивность перестройки модемного оборудования ЗС (определяется характеристиками модема);

σ – интенсивность перестройки модемного оборудования ЗС (определяется характеристиками модема);

β – интенсивность перехода источника в активное состояние;

α – интенсивность перехода источника в выключенное состояние;

ζ – интенсивность подключения дополнительного канала – определяются как обратные соответствующим временным интервалам, величины которых имеют экспоненциальное распределение.

Модель гибкого обслуживания трафика сложной структуры в ЗС может быть формализована в виде системы дифференциальных уравнений Колмогорова-Чэпмена для вероятностей состояний многомерного марковского процесса:

$$\dot{p}_g(n, h, t) = f_g \left(p(n, h, t), U_g(\mu, C(q), t), (\alpha_m, b_m, m = \overline{1, M}), (\sigma_l, \gamma_l, l = \overline{1, L}), \zeta \right), \vartheta = \overline{1, Q},$$

где $C(q)$ - объем ресурса ССС, доступного при текущем значении отношения «сигнал/шум» q ;

M - суммарное число абонентов, подключенных к ЗС; в состоянии «0» («OFF») абонент не генерирует пакеты, а в состоянии «1» («ON») m -й абонент генерирует пакеты с интенсивностью λ_m , $0 < \lambda_m < \infty$, $m = \overline{1, M}$;

α_m и β_m - параметры экспоненциального распределения времени пребывания m -го абонента в состояниях «0» и «1», соответственно;

r_m , $0 \leq r_m \leq C(q)$, $m = \overline{1, M}$ - число ресурсных единиц, доступных пакету от m -го источника;

μ , $0 < \mu < \infty$ - параметр экспоненциального распределения времени обслуживания одной ресурсной единицей (каналом);

σ, γ - параметры экспоненциального распределения времени, необходимого для перестройки режимов работы модемного оборудования;

$l = \overline{1, L}$ - число возможных режимов работы модемного оборудования;

$\zeta, 0 < \zeta < \infty$ - параметр экспоненциального распределения времени, необходимого на предоставление дополнительной ресурсной единицы (канала);

$n_m(t), 0 < n_m(t) < r_m(t)$ - число пакетов от m -го абонента в системе массового обслуживания в момент времени $t > 0$;

$h_m(t) \in \{0, 1\}$ - состояние m -го ММПП потока в момент времени $t > 0$;

$\mathbf{X}(t) = (\mathbf{n}(t), \mathbf{h}(t))$ - составной марковский процесс, описывающий поведение исследуемой системы на множестве состояний:

$$X = N \times H, N = \left\{ \mathbf{n}: \sum_{m=1}^M n_m \leq C(q), 0 \leq n_m \leq r_m, m = \overline{1, M} \right\}, H = \{0, 1\}^M;$$

$\Pi_m^b = \{(\mathbf{n}, \mathbf{h}) \in X: n_m = r_m; h_m = 1\}$ - множество состояний блокировки из-за того, что в системе уже обслуживается r_m заявок того же типа;

$\Pi_m^C = \{(\mathbf{n}, \mathbf{h}) \in X: n_m = C(q); n_m \neq r_m; h_m = 1\}$ - множество состояний блокировок m -заявок из-за отсутствия свободных приборов;

$B_m = \Pi_m^b \cup \Pi_m^C$ - множество состояний, в которых система не может принять на обслуживание m -й пакет (состояние блокировки);

$p(\mathbf{n}, \mathbf{h}, t)$ - вероятность пребывания системы в состоянии (\mathbf{n}, \mathbf{h}) в момент времени t ;

$S, S = \{S_{\vartheta}(\mu, C(q)), \vartheta = \overline{1, Q}\}$ - множество стратегий резервирования с запаздыванием;

$$p(B_m, t) = \sum_{(\mathbf{n}, \mathbf{h}) \in \Pi_m^b} p(\mathbf{n}, \mathbf{h}, t) + \sum_{(\mathbf{n}, \mathbf{h}) \in \Pi_m^C} p(\mathbf{n}, \mathbf{h}, t) - \sum_{(\mathbf{n}, \mathbf{h}) \in \Pi_m^b \cap \Pi_m^C} p(\mathbf{n}, \mathbf{h}, t) -$$

вероятность блокировки;

$U_{\Delta}^{\vartheta}(\mu, C(q), t) \in S_{\vartheta}(\mu, C(q))$ - множество допустимых управлений при резервировании с запаздыванием S_{ϑ} .

Экономия радиоресурса СР за счет оперативного резервирования дополнительных каналов (ΔC) эквивалентна повышению пропускной способности ССС:

$$\rho_{\vartheta}(f_{\vartheta}(\cdot)) = \frac{C_{\Sigma}(q)}{C_{\Sigma}(q) - \Delta \rho_{\vartheta}(f_{\vartheta}(\cdot))}, \vartheta = \overline{1, Q}, \quad (1)$$

где $C_{\Sigma}(q)$ – суммарное число стандартных каналов ССС при заданных условиях (радиоресурс ССС); $\Delta \rho_{\vartheta}$ – величина экономии радиоресурса за счет оперативного резервирования; $f_{\vartheta}(\cdot), \vartheta = \overline{1, Q}$ – модель гибкого обслуживания трафика сложной структуры.

Задача оперативного резервирования канального ресурса может быть решена на основе модели гибкого обслуживания трафика сложной структуры

$f_{\vartheta}(\cdot)$ за счет разработки алгоритма оперативного резервирования дополнительных каналов $U_{\vartheta}^{opt}(\mu, C(q), t)$, $\vartheta = \overline{1, Q}$, обеспечивающего:

$$U_{\vartheta}^{opt}(\mu, C(q), t) = \arg \max_{U_{\vartheta}(\mu, C(q), t) \in \Delta U_{\vartheta}} \Delta \rho_{\vartheta}(f_{\vartheta}(\cdot)), \vartheta = \overline{1, Q}. \quad (2)$$

Стационарные вероятности состояний марковской цепи модели гибкого обслуживания трафика сложной структуры ЗС (рис. 4), описываются системой линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} P_{nmkl} = f_{nmkl}(P_{nmkl}, n = \overline{0, N}, m = \overline{0, M}, k = \overline{1, K}, l = \overline{1, L}); \\ \sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^M \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L P_{nmkl} = 1; \\ P_{nmkl} \geq 0, \forall n \in \overline{0, N}, \forall m \in \overline{0, M}, \forall k \in \overline{1, K}, \forall l \in \overline{1, L}; \end{cases}$$

где P_{nmkl} – стационарная вероятность состояния системы, определяемая количеством n пакетов в буфере, количеством m активных абонентов, количеством каналов k и уровнем пропускной способности l канала, линейные функции f_{nmkl} определяются путем последовательного разрешения относительно P_{nmkl} уравнений баланса переходов между состояниями системы массового обслуживания.

Задача определения момента формирования запроса на подключение дополнительного канала может быть интерпретирована как последовательное (слева направо и сверху вниз) удаление перехода вниз на графе (рис. 4). Задачу минимизации ресурса пропускной способности (2), выделяемой для каждого радионаправления, с учетом прерывистого характера трафика, изменения режимов работы модемного оборудования и возможности оперативного подключения дополнительного ресурса можно решить для моделей небольшой размерности, например, при емкости буфера ($N_{буф}$) 10 – 40 пакетов, путем прямого перебора. Сначала для каждого варианта управления решается задача поиска минимального значения средней интенсивности обслуживания при ограничении на вероятность отказа $P_{отк} \leq 0,01$, затем решается задача выбора варианта управления, доставляющего минимальное значение средней интенсивности обслуживания. В зависимости от класса QoS ограничениями являются вероятность потери пакетов $P_{отк}$, определяемая емкостью буфера ЗС $N_{буф}$, и предельная задержка пакетов T_3 , определяемая «длительностью жизни» пакета. Для случая двухканальной системы показана возможность увеличения нагрузки системы $y = \lambda / \mu$ в зависимости от количества пакетов в буфере, при котором подключается второй канал (рис. 5). При этом предоставление второго канала происходит таким образом, чтобы значение коэффициента использования дополнительного канала $K_2 = t_{p2} / T_{общ}$ было минимальным, но обеспечивалось заданное качество обслуживания $P_{отк} \leq 0,01$ (рис. 6).

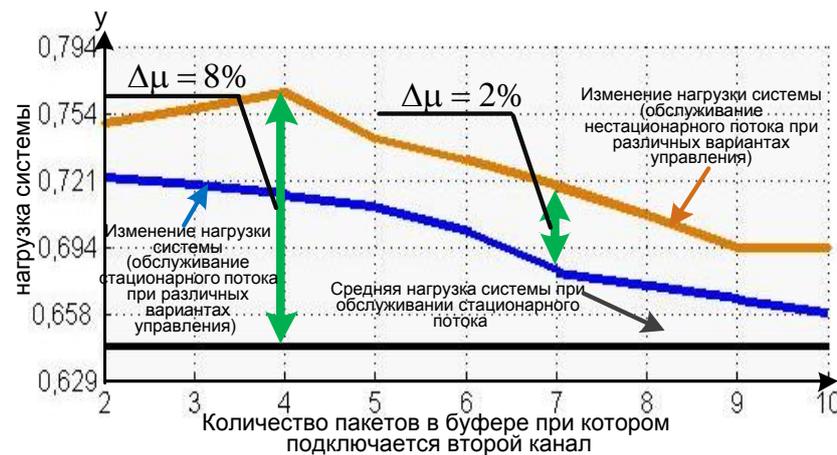


Рис. 5. Зависимость нагрузки двухканальной системы y от количества пакетов в буфере $N_{буф}$, при котором подключается второй канал

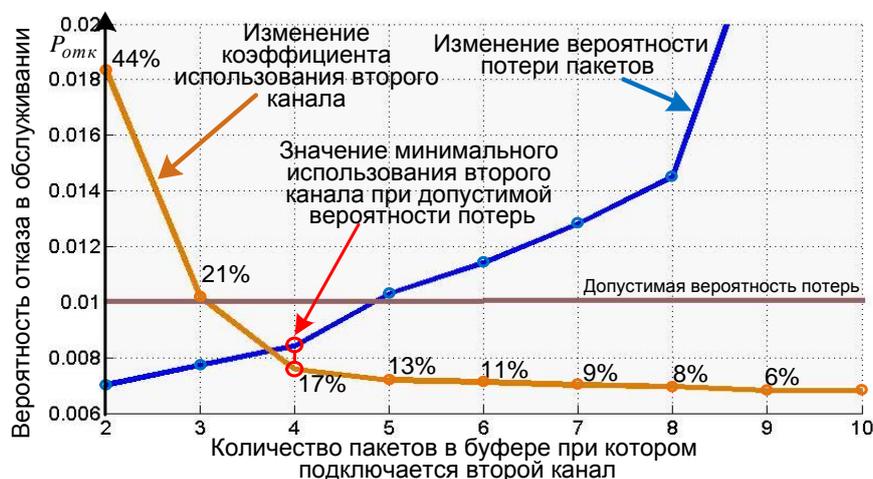


Рис. 6. Зависимость вероятности отказа в обслуживании пакетов $P_{отк}$ от количества пакетов в буфере $N_{буф}$, при котором подключается второй канал (коричневой линией показано изменение коэффициента использования второго канала $K_2(\%)$)

Небольшой объем буфера ЗС $N_{буф} = 10...40$, в приведенном примере позволяет определить оптимальный момент вызова дополнительного канала для двухканальной системы путем прямого перебора небольшого количества вариантов подключения второго канала.

Разработка алгоритма оперативного резервирования дополнительных каналов в земных станциях спутниковой связи

В случае наращивания размерности модели (рис. 4), например, при увеличении емкости буфера или числа дополнительных каналов, происходит существенное увеличение мощности множества альтернатив подключения дополнительного канала ΔU_9 , и поиск оптимального момента вызова дополнительного канала путем прямого перебора становится затруднительным.

В этой связи, для поиска оптимального момента подключения дополнительного канала потребовалось разработать алгоритм оперативного резервирования дополнительных каналов в ЗС.

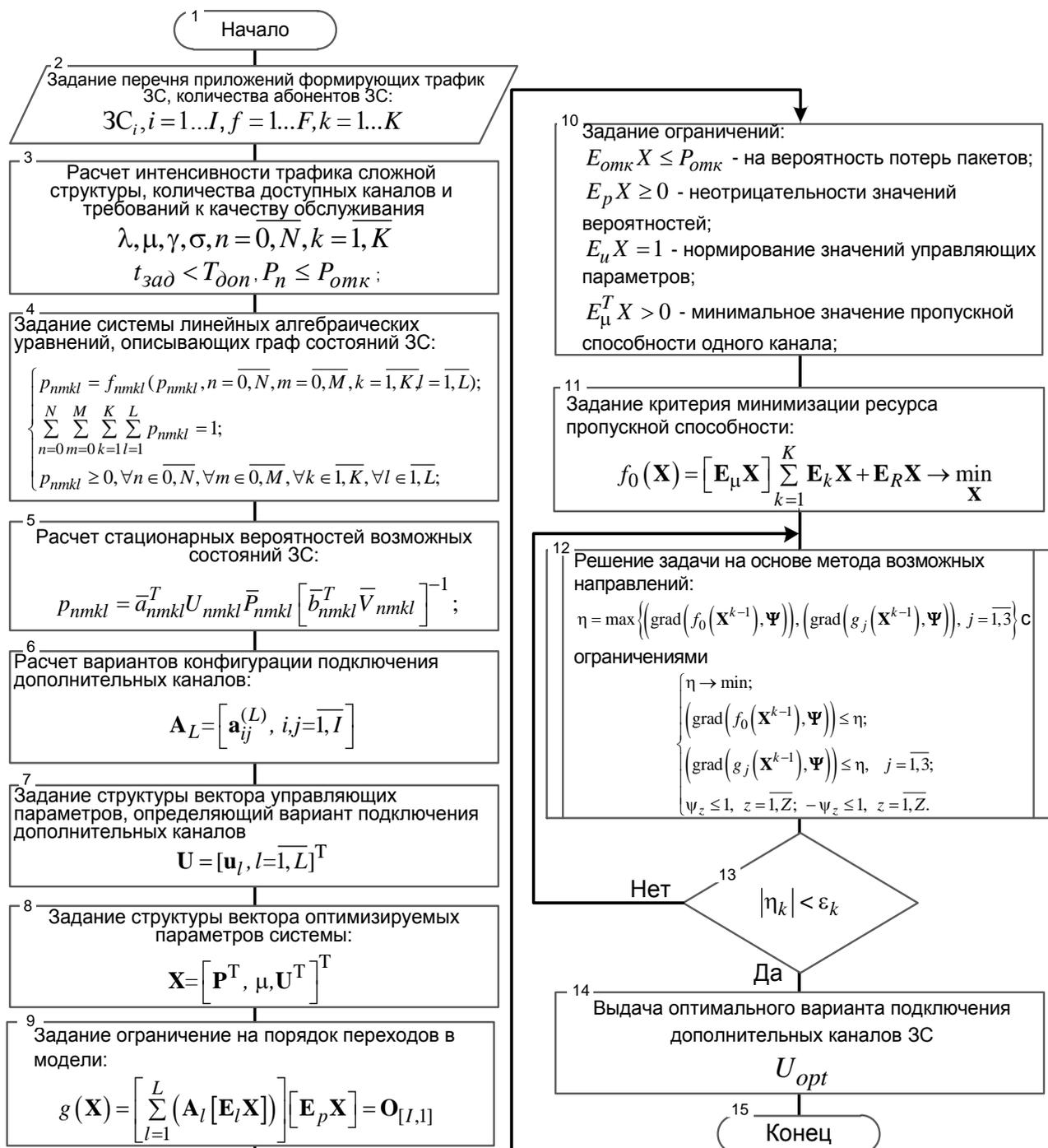


Рис. 7. Алгоритм оперативного резервирования дополнительных каналов ЗС сети спутниковой связи

Разработанный алгоритм (рис. 7), отличается от известных учетом текущего распределения канального ресурса ССС. В разработанном алгоритме учтены зависимости изменения вероятностно-временных характеристик модели при распределении пропускной способности.

Алгоритмизация поиска оптимального момента вызова дополнительных каналов потребовала аналитического описания представленной модели (рис. 4) на основе матричного подхода. Расчет оптимального момента вызова дополнительного канала происходит следующим образом.

В блоках 2-3 алгоритма происходит определение перечня мультимедийных приложений, используемых абонентом ССС и формирующих трафик, а также формализация процесса обслуживания трафика сложной структуры. В блоке 4 алгоритма составляется система уравнений баланса переходов, которая приводится к системе линейных алгебраических уравнений, описывающих граф модели (рис. 4).

Далее в блоке 5 рассчитываются стационарные вероятности P_{nmkl} модели. Расчет возможных вариантов конфигурации подключения дополнительных каналов производится в блоке 6. Формирование вектора управляющих параметров, определяющего тот или иной вариант подключения дополнительных каналов, производится в блоке 7. После формируется вектор оптимизируемых параметров системы (блок 8) и задаются ограничения на порядок переходов в модели (блок 9). Далее формируются ограничения (блоки 10-12) и проводится постановка задачи минимизации ресурса пропускной способности:

$$f_0(\mathbf{X}) = [\mathbf{E}_\mu \mathbf{X}] \sum_{k=1}^K \mathbf{E}_k \mathbf{X} + \mathbf{E}_R \mathbf{X} \rightarrow \min_{\mathbf{X}}$$

В блоках 12, 13 проводится реализация итерационного алгоритма оптимизации на основе метода возможных направлений.

1. Формализация вспомогательной задачи линейного программирования:

$$\eta = \max \left\{ \left(\text{grad} \left(f_0(\mathbf{X}^{k-1}), \Psi \right) \right), \left(\text{grad} \left(g_j(\mathbf{X}^{k-1}), \Psi \right) \right), j = \overline{1,3} \right\} \quad (3)$$

с ограничениями

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta \rightarrow \min; \\ \left(\text{grad} \left(f_0(\mathbf{X}^{k-1}), \Psi \right) \right) \leq \eta; \\ \left(\text{grad} \left(g_j(\mathbf{X}^{k-1}), \Psi \right) \right) \leq \eta, \quad j = \overline{1,3}; \\ \psi_z \leq 1, \quad z = \overline{1, Z}; \quad -\psi_z \leq 1, \quad z = \overline{1, Z}. \end{array} \right. \quad (4)$$

2. Решение задачи (3) – (4) при помощи алгоритма симплекс-метода для определения вектора Ψ_k возможного направления спуска.

3. Формализация вспомогательной задачи линейного программирования:

$$\varphi_k(\theta) = f_0(\mathbf{X}^{k-1} + \theta \Psi^k) \rightarrow \min,$$

с ограничением

$$0 < \theta \leq \bar{\theta}_k.$$

4. Решение задачи при помощи алгоритма симплекс-метода для определения величины шага θ спуска.

5. Перемещение в выбранном направлении

$$\mathbf{X}^k = \mathbf{X}^{k-1} + \theta_k \Psi^k.$$

6. Проверка условия прекращения итераций

$$|\eta_k| < \varepsilon_k,$$

где $\varepsilon_k > 0$ – заданный параметр точности поиска.

7. Нахождение оптимального варианта подключения дополнительного канала:

$$U_g^{opt}(\mu, C(q), t) = \arg \max_{U_g(\mu, C(q), t) \in \Delta U_g} \Delta \rho_g(f_g(\cdot)), \mathcal{G} = \overline{1, Q}.$$

Разработанный алгоритм (рис. 7) позволяет получить оптимальный вариант резервирования пропускной способности, доставляющий максимум коэффициента повышения пропускной способности $\Delta \rho_g$ (рис. 8).

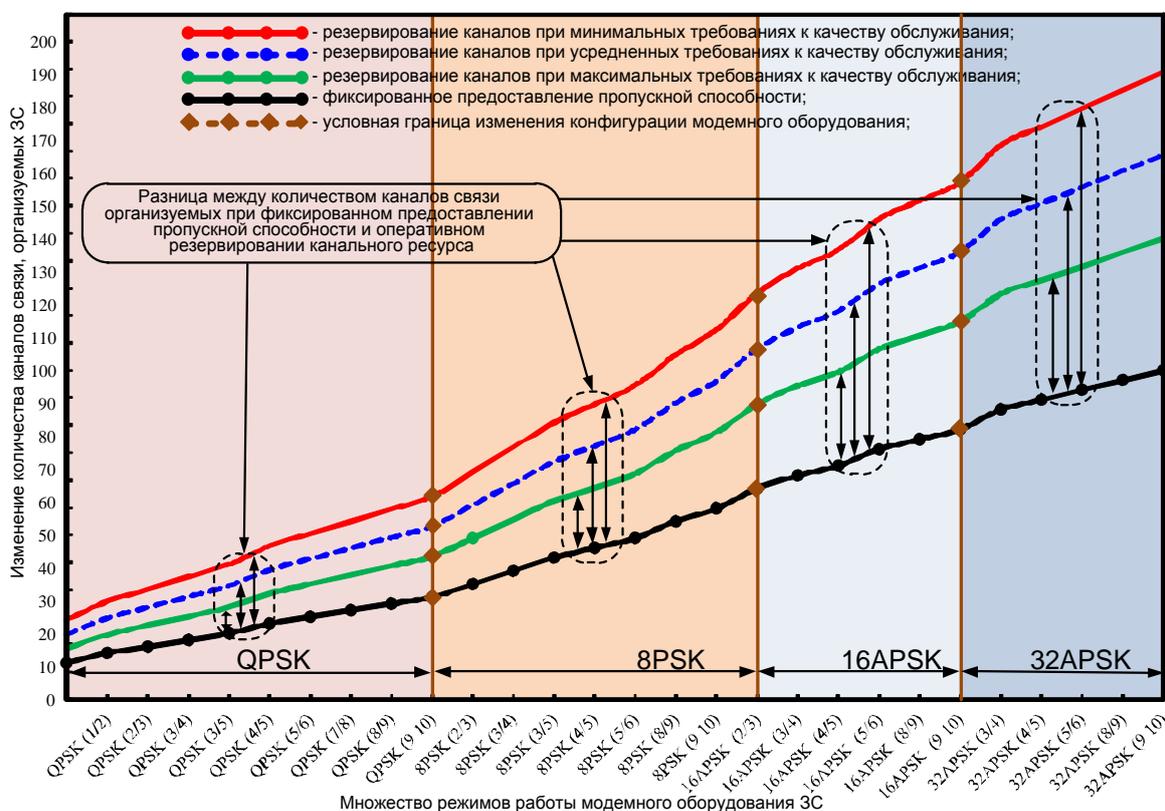


Рис. 8. График изменения количества каналов связи, организуемых ЗС, при оперативном резервировании дополнительных каналов

Применение полученного алгоритма за счет выбора оптимального варианта подключения дополнительного канала позволяет обеспечить обслуживание трафика сложной структуры в условиях изменения режимов работы модема, что соответствует выигрышу по пропускной способности. Стоит отметить, что коэффициент повышения пропускной способности (рис. 8) зависит от требований к качеству обслуживания трафика. Чем выше требования к качеству обслуживания, тем меньше коэффициент повышения пропускной

способности Δp_d . Так, при наиболее жестких требованиях к качеству обслуживания, выигрыш составит до 10%, при менее жестких до 40%.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование алгоритма оперативного резервирования дополнительных каналов ЗС ССС при передаче нестационарного трафика позволяет заметно увеличить число каналов, организуемых ЗС по сравнению с подходом предоставления фиксированной пропускной способности, что соответствует повышению пропускной способности ЗС ССС (рис. 8).

На рис. 8 по оси ординат показано изменение количества каналов связи, организуемых ЗС, а по оси абсцисс указаны сигнально кодовые конструкции, соответствующие режимам работы спутникового модема ЗС, при этом в скобках указана скорость кодирования. При этом стоит отметить, что повышение пропускной способности будет зависеть от требований, предъявляемых к качеству обслуживания, структуры передаваемого трафика, а также от условий помеховой обстановки.

Заключение

В работе получены следующие результаты, обладающие новизной.

1. Модель гибкого обслуживания трафика сложной структуры ЗС, учитывающая факторы самоподобия и нестационарности входных информационных потоков, формируемых абонентами с использованием разнородных мультимедийных приложений; фактор наличия существенной задержки в линии спутниковой связи, соизмеримой с предельными требованиями по оперативности доставки пакетов мультисервисного трафика; фактор снижения объема доступного радиоресурса в условиях изменения режимов работы модемного оборудования.

2. Алгоритм оперативного резервирования дополнительных каналов ЗС, который позволяет определять величину запрашиваемого ресурса (дополнительных каналов) и момент отправки запроса на предоставление ресурса в зависимости от заполнения буфера ЗС.

Использование полученных результатов в составе математического обеспечения ЗС позволяет повысить эффективность использования ограниченной пропускной способности СР, следовательно, повысить пропускную способность. Следует ожидать, что распространение разработанного подхода к управлению ограниченным ресурсом СР на случай подключения к каждой ЗС группы из M абонентов, позволит добиться еще более существенного выигрыша в экономии радиоресурса СР за счет оперативного резервирования дополнительного канального ресурса. Однако изучение этого вопроса, учитывая существенное увеличение размерности задачи, является предметом отдельного исследования.

Литература

1. Bae J. J., Suda T. Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM Networks // Proc. IEEE. 1991. vol. 79. № 2. P. 170–186.
2. Антонян А. Б. Пакетная коммутация для передачи речи // Вестник связи. 1999. № 5. С. 68–71.
3. Коган А. В. IP-телефония: оценка качества речи // Технологии и средства связи. 2001. № 1. С. 78–84.
4. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л., Новиков Е. А. Исследование канальных и сетевых параметров канала связи в условиях динамически изменяющейся сигнально–помеховой обстановки // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 10. С. 2. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/oct14/3/text.pdf> (дата доступа 01.03.2015).
5. Шелухин О. И., Тенякшев А. М., Осин А. В. Моделирование информационных систем. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
6. Шелухин О. И., Лукьянцев Н. Ф. Цифровая обработка речи. – М.: Радио и связь, 2000. – 256 с.
7. Ушанев К. В., Макаренко С. И. Аналитико-имитационная модель функционального преобразования трафика сложной структуры // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 2. С. 26-44.
8. Akimaru H., Kawashima K. Teletraffic: theory and applications // Springer Science & Business Media. 2012. P. 137–140.
9. Anjum B. MMPP-2 approximation of aggregate IPPs with application to expedited forwarding class in ipbased networks // Communication Technology, 13th IEEE International Conference on Communication Technologies (ICCT), 2011. – P. 494–498.
10. Rajabi A., Wong J. W. MMPP characterization of web application traffic // Modeling, Analysis & Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS), 2012. – P. 107–114.
11. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. Пер. с англ. / Под ред. Б. С. Цыбакова. М.: Мир, 1979. – 600 с.
12. Косяков Е. Н., Новиков Е. А. Метод оперативного управления радиоресурсом спутника-ретранслятора на основе динамического резервирования каналов с запаздыванием // Информация и космос. 2014. №3. С. 9–13.
13. Новиков Е. А. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2 (69). С. 79-87.
14. Новиков Е. А. Оценка пропускной способности спутника-ретранслятора при резервировании радиоресурса с упреждением // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. № 3 (15). С. 62-69.
15. Ковальский А. А. Модели статистического уплотнения и алгоритмы диспетчеризации разнородного трафика земных станций спутниковой связи в условиях изменяющейся помеховой обстановки // Труды МАИ. 2016. № 90. С. 20. URL: <http://mai.ru/science/trudy/published.php?ID=74818> (дата доступа 20.03.2017).

Reference

1. Bae J. J., Suda T. Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM Networks. *Proc. IEEE*, 1991, vol. 79, no. 2, pp. 170–186.
2. Antonian A. B. Paketnaia kommutatsiia dlia peredachi rechi [Package Switching for a Speech Transmission]. *Vestnik svyazi*, 1999, no. 5, pp. 68–71 (In Russian).
3. Kogan A. V. IP-telefoniia: otsenka kachestva rechi [IP-Telephony: Assessment of Quality of the Speech]. *Tekhnologii i sredstva svyazi*, 2001, no. 1, pp. 78–84 (In Russian).
4. Makarenko S. I., Mikhailov R. L., Novikov E. A. The Research of Data Link Layer and Network Layer Parameters of Communication Channel in the Conditions Dynamic Vary of the Signal and Noise Situation. *Journal of Radio Electronics*, 2014, no. 10, p. 10. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/oct14/3/text.pdf> (accessed 03 March 2014) (in Russian).
5. Shelukhin O. I., Teniakshev A. M., Osin A. V. *Modelirovanie informatsionnykh sistem* [Modeling of information systems]. Moscow, Radio engineering Publ, 2005. 368 p. (In Russian).
6. Shelukhin O. I., Lukyantsev N. F. *Tsifrovaia obrabotka rechi* [Digital processing of speech]. Moscow, Radio and communication, 2000. 256 p. (In Russian).
7. Ushanev K. V., Makarenko S. I. Analytical-Simulation Model of Functional Conversion of Complex Traffic. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 2, pp. 26-44. (In Russian).
8. Akimaru H., Kawashima K. Teletraffic: theory and applications. *Springer Science & Business Media*, 2012, pp. 137–140.
9. Anjum B. MMPP-2 approximation of aggregate IPPs with application to expedited forwarding class in ipbased networks. *Communication Technology*, 13th IEEE International Conference on Communication Technologies (ICCT), 2011, pp. 494–498.
10. Rajabi A., Wong J. W. Mmpp characterization of web application traffic, *Modeling, Analysis & Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS)*, 2012. – pp. 107–114.
11. Kleinrock L. *Queueing Systems: Volume II – Computer Applications*. New York: Wiley Interscience, 1975, 576 p.
12. Kosiakov E.N., Novikov E.A. Method of operational radio-resource management on the basis of the dynamic reservations with delay. *Information and Space*, 2014, vol. 4, no. 3, pp. 9–13. (In Russian).
13. Novikov E. A. Operative distribution of Satellite repeater radio resource in terms of non-stationary ingress flow with account of time lagged control. *Information and Control Systems*, 2014, vol. 69, no. 2, pp. 79-87 (In Russian).
14. Novikov E. A. Assessment of reflecting satellite transmission capacity when reserving a feed-forward radio resource. *Radio and Telecommunication Systems*, 2014, vol. 15, no. 3, pp. 62-69. (In Russian).

15. Kovalsky A. A. Models of statistical consolidation and algorithms of scheduling of the diverse traffic terrestrial stations of satellite communication in the conditions of the changing interfering situation. *Trudy MAI*, 2016, no. 90, pp. 20. Available at: <http://mai.ru/science/trudy/published.php?ID=74818> (accessed 20 March 2017). (in Russian).

Статья поступила 20 марта 2017 г.

Информация об авторах

Новиков Евгений Александрович – доктор технических наук, доцент. Доцент кафедры сетей и систем связи космических комплексов. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: системы управления, системный анализ, теория сложных систем, системы и комплексы связи космического назначения. E-mail: novikov.evg.al@gmail.com

Зиннуров Салават Халилович – кандидат технических наук. Инженер учебной лаборатории кафедры систем и средств радиоэлектронной борьбы. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: системный анализ, системы управления связью, системы и комплексы связи космического назначения. E-mail: zinnurov_salavat@mail.ru

Адрес: 197198, Россия, г. Санкт-Петербург, Ждановская ул., д. 13.

Flexible Service Model of Complex Traffic and Real-time Algorithm of Channel Reserve for Satellite Earth Stations

E. A. Novikov, S. Kh. Zinnurov

Relevance. At present, there is a high demand on services transmitting a multimedia content, telephone and video communications and transferring data which can be satisfied by using satellite networks in certain cases. The traffic load created at the same time generally has a complex structure. The coverage of servicing areas of satellite networks, on the one hand, and the principal scarcity of the orbital radio resource, on the other hand, require online radio resource management in order to increase its use efficiency. One of the ways to improve the radio resource use efficiency is multiplexing satellite radio lines taking into account the statistical characteristics of the relayed traffic and the operating modes of the satellite modem. **The paper purpose** is to develop the model of the flexible service of the complex structure traffic and an real-time algorithm of channels reserve in the earth stations through variation of the traffic received from various subscribers of the earth station which allows to improve the radio resource use efficiency (the capacity expressed in the number of available channels) of the satellite communication network by means of online backup of the channel radio resource. **Results.** The searching of backup channels is defined as a non-linear programming task, as well as the example how to resolve it while servicing the complex structure traffic created by a group of subscribers is provided. **The novelty** of the approach is that a new model of the flexible service of the complex structure traffic provided by the earth station different from the known ones due to taking into account the dynamics of the capacity change when switching between the operating modes of the modem equipment is developed. The developed model as a four-dimensional Markov chain was obtained on the basis of the state space extension using models of the configuration change of the modem equipment, of the group source of the complex structure traffic, of channel resource backup with time delay, as well as of the service process of the single channel system traffic. The assumptions concerning the exponential laws of distribution of duration of subscribers' activity and pauses, delay in connecting to an auxiliary channel resource, duration of transferring individual communications, and intervals between them, as well as time interval sizes for the readjustment of the

modem equipment are adopted as limitations. The algorithm different from the known ones due to taking into account the current allocation of the channel resource is proposed on the basis of the developed model and allows to find an optimal moment of the auxiliary channel connection in case of a significant increase in the power of a set of alternatives. An example how to complete the set task is provided. **Practical significance.** The total results obtained as a model of the flexible service of the complex structure traffic and as the algorithm will allow increasing the capacity of the satellite communication network by 10-40% while ensuring the specified quality of the subscribers' service.

Key words: relay satellite, radio resource, earth station, interrupted Poisson flow, modulated Markov process, online backup, complex structure traffic.

Information about Authors

Evgenii Aleksandrovich Novikov – Dr. habil. of Engineering Sciences, Docent. Associate Professor at the Department of Network and Communication Systems of Space Systems. Mozhaisky Military Space Academy. Field of research: control systems, systems analysis, theory of complex systems, network and communication systems of space systems. E-mail: novikov.evg.al@gmail.com

Salavat Khalilovich Zinnurov – Ph.D. of Engineering Sciences. Engineer at Laboratory at the Systems and Electronic Warfare Department. Mozhaisky Military Space Academy. Field of research: systems analysis, the control communication systems, network and communication systems of space systems. E-mail: zinnurov_salavat@mail.ru

Address: Russia, 197198, Saint-Petersburg, Zhdanovskaya str., 13.

УДК 623.385.6

Анализ трудоемкости различных алгоритмических подходов для решения задачи коммивояжера

Семенов С. С., Педан А. В., Воловикова В. С., Климов И. С.

Постановка задачи: провести анализ существующих эвристических алгоритмов и оценить их трудоемкость при решении задачи коммивояжера. **Актуальность работы:** задача коммивояжера является NP-трудной задачей, т.е. точное решение которой может быть получено только за экспоненциальное время. Следовательно, решать ее алгоритмом полного перебора не эффективно при большом количестве вершин графа. Однако существуют различные эвристические алгоритмы, которые позволяют найти рациональное решение данной задачи при большом количестве вершин за приемлемое время. Необходимо выработать критерий применимости того или иного алгоритма при решении задачи коммивояжера при различном количестве вершин графа и имеющемся ресурсе времени для проведения расчета. Данный критерий позволит более эффективно применять различные алгоритмы для решения задач в области логистики, в которых требуется рассчитать маршрут между взаимосвязанными вершинами графа и в дисциплине исследования операций для обоснования принятия решений во всех областях человеческой деятельности. **Целью работы** является определение времени решения задачи о коммивояжере каждым из описанных в данной статье эвристических алгоритмов и сравнение полученных результатов со временем выполнения алгоритма полного перебора, а также описание критерия применимости того или иного алгоритма. **Используемые методы:** в статье приводятся материалы проведенных исследований трудоемкости эвристических алгоритмов, реализованных в виде программы для ЭВМ, над которой был проведен эксперимент для получения статистических данных результатов работы алгоритмов. **Результат:** описан критерий выбора алгоритма для расчета рационального маршрута, который зависит от количества вершин графа и доступного ресурса машинного времени для расчета. **Практическая значимость** результатов состоит в возможности на основании описанного критерия применять более рациональный с точки зрения временных затрат алгоритм при решении задачи коммивояжера в различных областях человеческой деятельности.

Ключевые слова: эвристический алгоритм, полный перебор, граф, рациональный маршрут, коммивояжер.

Постановка задачи

В качестве исходных данных на площади S берется множество N вершин графов (контрольных точек), которые связаны между собой дорожно-транспортной сетью. Из возможных вариантов маршрутов необходимо выбрать близкий к оптимальному маршрут движения коммивояжера между вершинами графа.

Очевидно, что задача может быть решена перебором всех вариантов объезда и выбором оптимального маршрута. Проблема в том, что количество

Библиографическая ссылка на статью:

Семенов С. С., Педан А. В., Воловикова В. С., Климов И. С. Анализ трудоемкости различных алгоритмических подходов для решения задачи коммивояжера // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 116–131. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/08-Semenov.pdf>

Reference for citation:

Semenov S. S., Pedan A. V., Volovikov V. S., Klimov I. S. Analysis of the Labor Intensity of Various Algorithmic Approaches for Solving the Traveling Salesman Problem. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 116–131. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/08-Semenov.pdf> (in Russian).

возможных маршрутов возрастает с ростом N – количества вершин графа. Оно равно $N!$ – количеству способов упорядочения вершин графа. Так как маршрут должен проходить через каждую вершину только один раз – выбор будет осуществляться среди гамильтоновых циклов, поэтому выбор маршрута зависит от того, существует ли маршрут не длиннее, чем заданное значение L_{min} .

Алгоритм, основанный на полном переборе вариантов, не является самым эффективным (в смысле быстродействия) для решения задачи коммивояжера. В работе [1] доказано, что не существует алгоритма решения, имеющего степенную сложность (то есть требующего порядка n^a операций для некоторого a) – любой алгоритм будет хуже. Всё это делает задачу коммивояжера трансвычислительной для ЭВМ с последовательным выполнением операций, если n хоть сколько-нибудь велико.

Таким образом, следует отказаться от попыток отыскать точное решение задачи коммивояжера и сосредоточиться на поиске приближённого – пусть не оптимального, но близкого к нему маршрута.

Описание выбранных эвристических алгоритмов, используемых для поиска маршрута

Полный перебор заключается в поиске решения путем перебора всевозможных вариантов решения, и отыскания среди этих вариантов удовлетворяющего заданным требованиям. Достоинство данного метода – это высокая точность результата. Главным недостатком является количество времени, необходимое для отыскания всевозможных вариантов решения, которое растёт вместе с увеличением количества N вершин графа, что может потребовать для поиска решения количество времени, несравнимое с человеческой жизнью. Для поиска решения в работе использовался вариант алгоритма, в котором расчет длины маршрута прекращался в момент, когда его длина L становилась больше текущей наилучшей длины маршрута $L_{тек}$, что позволило сократить время расчета.

Жадный алгоритм заключается в поиске локального оптимального решения в надежде, что оно приведет к оптимальному решению глобальной задачи. Достоинством данного алгоритма является время T поиска решения, а недостатком является то, что решение в большинстве случаев является не оптимальным. Блок-схема, описывающая жадный алгоритм, приведена на рис. 1.

Входные данные для жадного алгоритма:

K_c – множество скоплений вершин графа;

i_c – номер вершины от которой ищем ребро;

j_c – номер вершины к которой ищем ребро;

$c_{тек}$ – наиболее выгодное значение цены ребра в данный момент;

$n_{тек}$ – номер вершины с наиболее выгодной ценой ребра;

$G_{марш}$ – вершины, содержащие результирующий маршрут;

$L_{расч}$ – результирующая протяженность значения маршрута;

b_c – счетчик вершин графа.

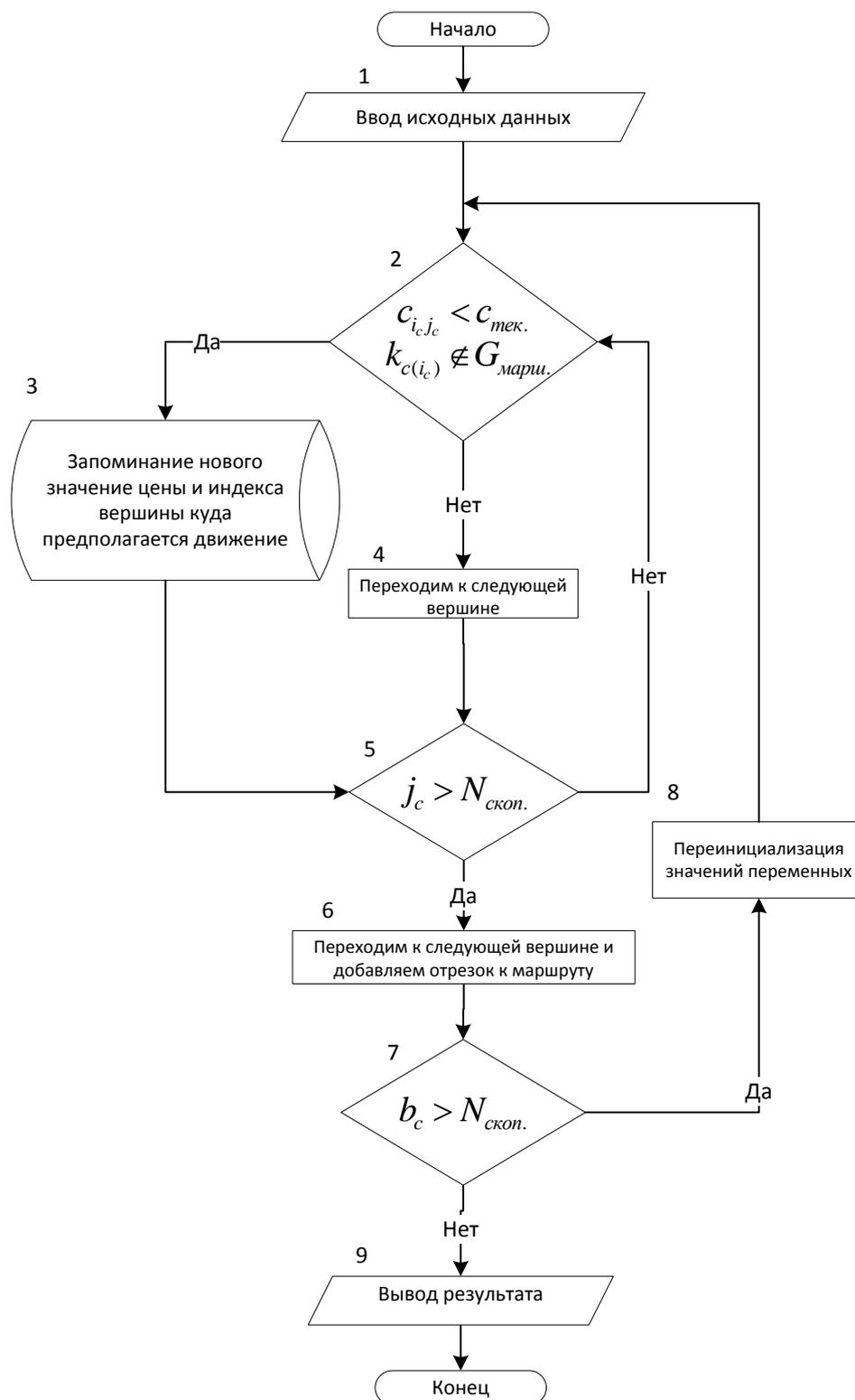


Рис. 1. Блок-схема жадного алгоритма

Алгоритм имитации отжига [4, 5] – приближенный метод решения задачи поиска минимума функции. За основу взят физический процесс кристаллизации вещества, который применяют в металлургии для повышения однородности металла. Отжиг – это процесс остывания вещества, при котором молекулы на фоне замедляющегося теплового движения собираются в наиболее энергетически выгодные конфигурации. Как известно, у металла есть кристаллическая решетка, она описывает геометрическое положение атомов

вещества. Совокупность позиций всех атомов будем называть маршрутом между вершинами. Каждому маршруту соответствует определенная протяженность между вершинами. Цель отжига – привести маршрут в состояние с наименьшей протяженностью. Чем ниже уровень энергии, тем «меньше» протяженность маршрута.

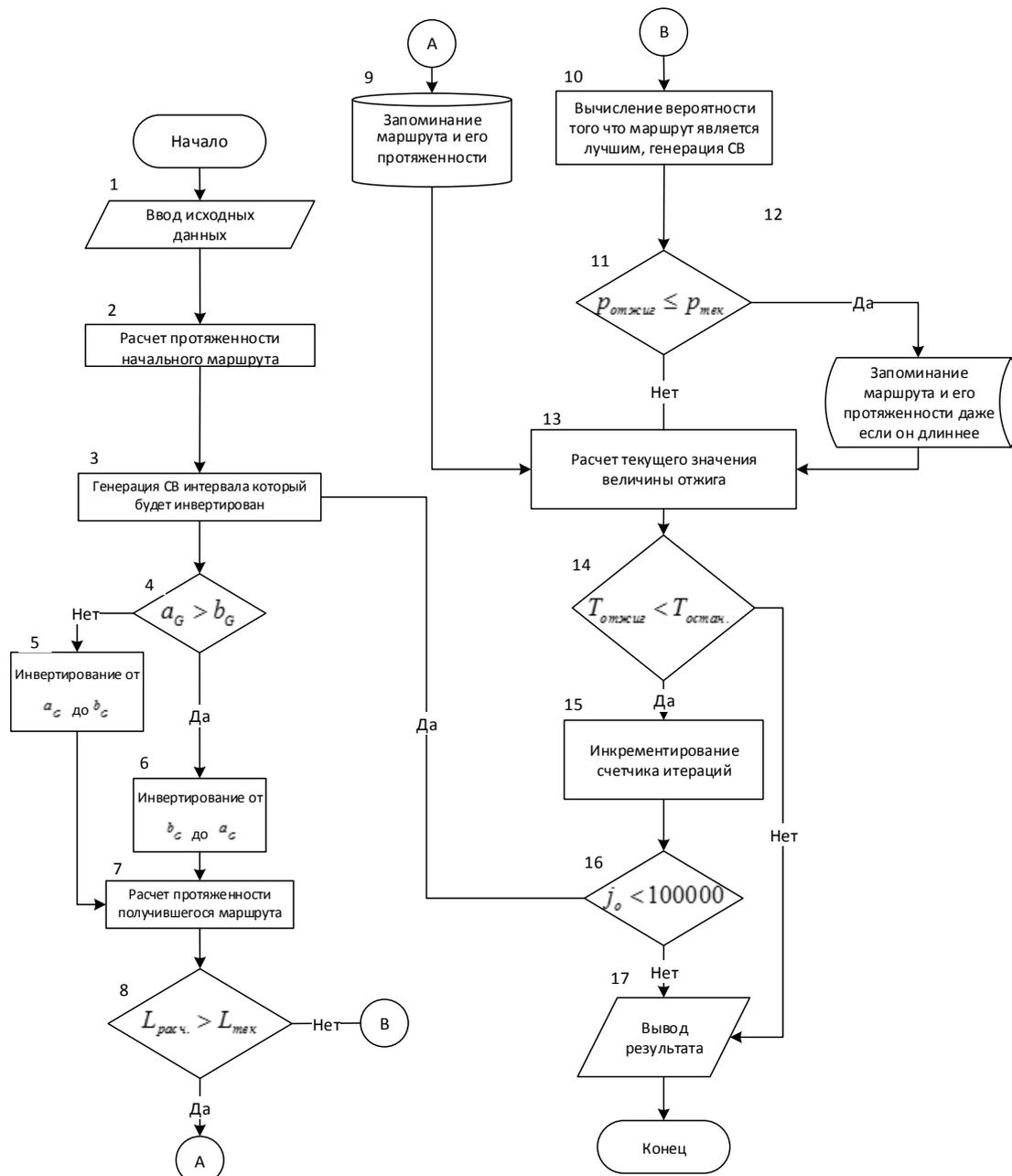


Рис. 2. Блок-схема алгоритма имитации отжига

В ходе «отжига» сначала задается некоторая температура, затем начинается медленное и контролируемое понижение этой температуры. Вершины выстраиваются в состояние с наименьшей протяжённостью, однако, с определенной вероятностью они могут перейти и в состояние с большей протяженностью. Эта вероятность уменьшается вместе с температурой. Переход в худшее состояние помогает отыскать маршрут с меньшей протяженностью, чем начальная. Процесс завершается, когда температура

падает до заранее заданного значения. Начальный маршрут формируется стохастическим путем.

Данные, необходимые для реализации алгоритма имитации отжига:

K_c – множество скоплений вершин графа;

a_G – позиция элемента в последовательности $G_{расчет}$;

b_G – позиция элемента в последовательности $G_{расчет}$;

$G_{расчет}$ – вариант маршрута;

$G_{марш}$ – результирующий маршрут;

$T_{отжиг}$ – текущее значение величины (температуры) отжига;

$T_{остан}$ – значение величины (температуры) отжига до которой будет декрементирована величина $t_{отжиг}$;

$t_{отжиг}$ – начальное значение величины (температуры) отжига;

$p_{отжиг}$ – вероятность выбора лучшего маршрута;

$p_{твк}$ – случайная величина, сгенерированная по равновероятному закону.

Блок-схема, описывающая данный алгоритм, представлена на рис. 2.

Муравьиный алгоритм [2, 3, 9, 10] (алгоритм оптимизации муравьиной колонии) – позволяет находить приближенные решения задачи коммивояжера. Основной идеей муравьиного алгоритма является имитация поведения муравьиной колонии при поиске еды. Проходя маршрут от одной вершины графа (жилища) до другой вершины графа (источника пищи), муравьи (агенты) оставляют после себя след феромона, то есть повышают значимость ребра, которая со временем уменьшается (испаряется). Значимость ребра на маршруте зависит от длины маршрута L и от количества агентов, которые прошли по маршруту.

Блок-схема, реализующая муравьиный алгоритм, представлена на рис. 3.

Генетический алгоритм [6, 7, 8, 10] использует механизм эволюции – представляет собой естественный отбор. Его суть состоит в том, что более приспособленные особи имеют больше возможностей для выживания и размножения. При этом благодаря передаче генетической информации (генетическому наследованию) потомки наследуют от родителей основные их качества. Таким образом, потомки сильных индивидуумов также будут более эффективными, а их доля в общей массе особей будет возрастать. После смены нескольких десятков или сотен поколений средняя приспособленность особей данного вида заметно возрастает. Блок-схема, описывающая генетический алгоритм, приведена на рис. 4.

Исходные данные для генетического алгоритма:

$G_{ген}$ – множество вариантов маршрутов между вершинами графа;

$N_{разм.попул.}$ – размер множества $G_{ген}$;

n_2 – номер вершины в маршруте, принимает значения в интервале $[1, N_{разм.попул.}]$;

$G_{расчет(i)}$ – вариант маршрута;

i_2 – индекс маршрута, принимает значения в интервале $[1, N_{скон}]$;

v_2 – переменная-счетчик;

$L_{тек(i)}$ – протяженность маршрута одного из вариантов маршрутов.

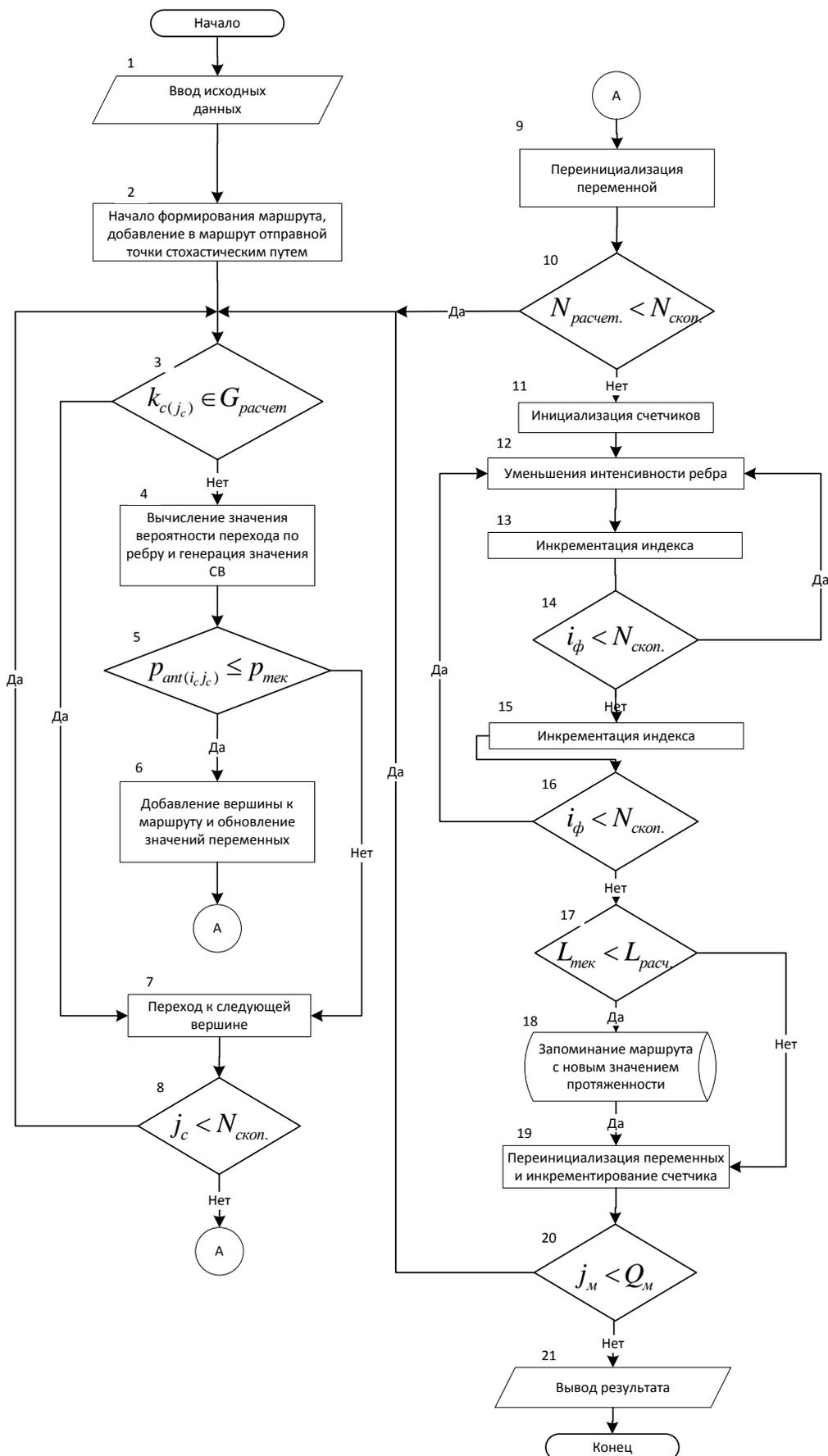


Рис. 3. Блок-схема муравьиного алгоритма

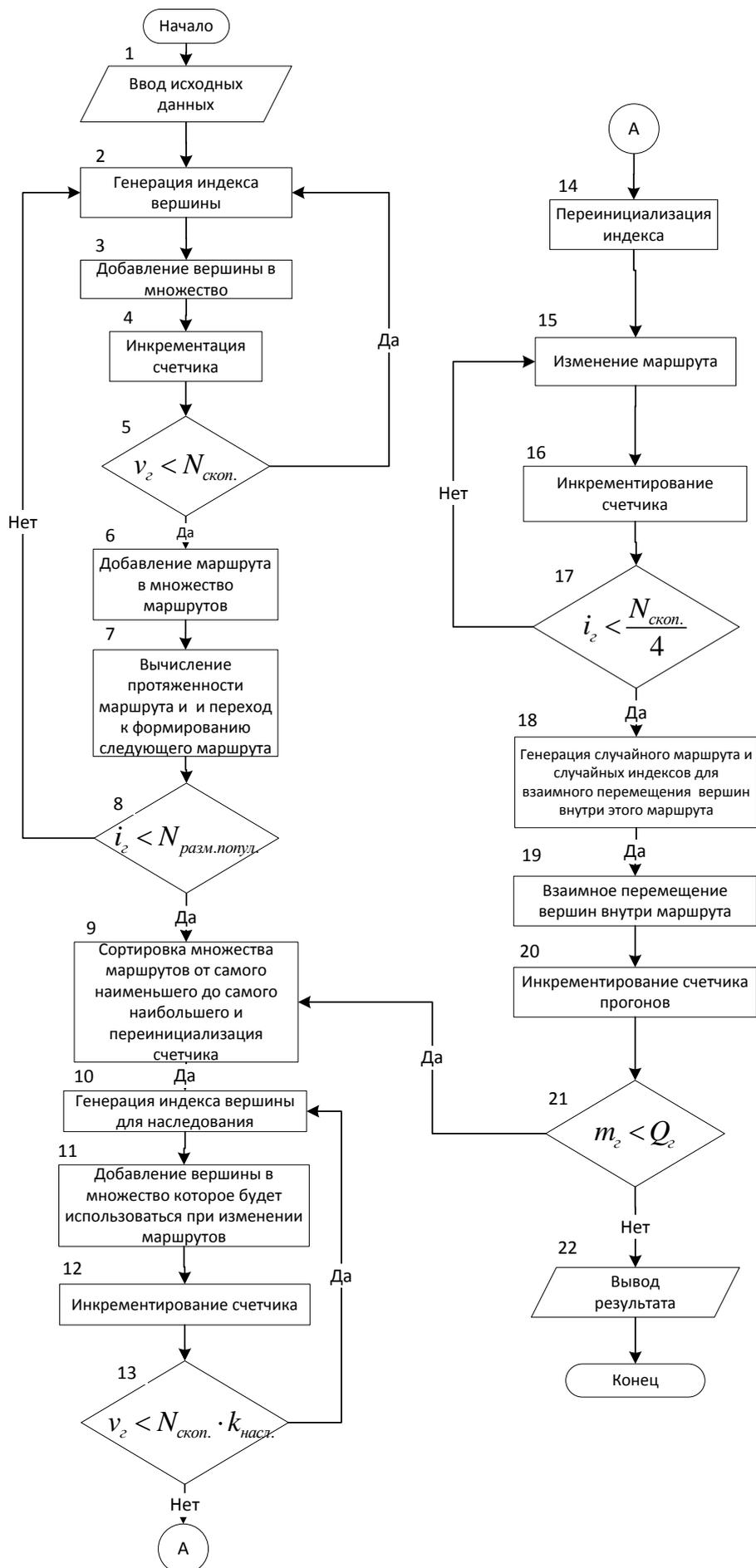


Рис. 4. Блок-схема генетического алгоритма

Результаты моделирования

Работа алгоритмов была реализована в виде программы в среде имитационного моделирования AnyLogic на ЭВМ, обладающей следующими характеристиками: Intel Core i5-4690 CPU 3.5 GHz, ОЗУ 4 Гб, ОС Windows 8.1.

Разработанная программа [11] позволяет задать количество вершин N , которые размещаются в ограниченном квадрате, координаты размещения вершин генерируются с помощью равновероятного закона распределения случайной величины, то есть структура топологии генерируется каждый раз новым образом с новыми весами ребер. После чего производится формирование матрицы смежностей $N \times N$ между городами. Программа позволяет произвести расчет различных вариантов маршрутов с помощью выше рассмотренных алгоритмов.

Во время расчета каждым из алгоритмов фиксируется время работы алгоритма T и результат средней протяженности полученного маршрута L .

Расчеты с учетом значений протяженности маршрута полученных алгоритмом полного перебора были выполнены до $N=15$ включительно. Исследования при $N>15$ проводились без учета результатов алгоритма полного перебора в связи большими затратами времени для его расчета. Полученные результаты проведенных экспериментов при различных значениях N представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета маршрута

N	Муравьиный алгоритм		Жадный алгоритм		Алгоритм отжига		Генетический алгоритм		Алгоритм полного перебора	
	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L
5	0,013	977,151	0	977,151	0,282	1083,558	8,688	977,151	0	977,151
6	0,001	1594,968	0	1670,669	0,313	1664,937	8,64	1594,96	0	1594,96
7	0,005	1218,34	0	1390,193	0,328	1218,34	8,688	1218,34	0	1218,34
8	0,01	1646,893	0,001	1646,893	0,344	1646,893	8,875	1646,89	0	1646,89
9	0,014	1491,867	0	1634,396	0,344	1757,927	8,922	1491,86	0,015	1491,86
10	0,009	1758,67	0	1800,987	0,438	1928,311	9,078	1744,06	0,109	1758,67
11	0,01	2017,172	0	2142,77	0,453	1939,061	9,328	1939,06	0,937	1939,06
12	0,006	2208,56	0	2704,308	0,437	2350,396	9,079	2208,56	9,079	2208,56
13	0,016	1940,704	0	1940,704	0,406	2148,848	9,531	1940,70	91,986	1940,70
14	0,009	2415,302	0	2505,856	0,391	2518,657	9,188	2361,97	1454,33	2317,31
15	0,013	2524,521	0	2738,36	0,422	2478,504	9,672	2491,81	19861,0	2418,40
16	0,009	1945,936	0	2254,01	0,406	2074,755	10,109	1993,68	∞	∞
30	0,046	3066,647	0	3817,292	0,531	3681,766	10,719	2971,48	∞	∞
50	0,107	3729,073	0	4316,43	0,719	3711,972	13,548	3491,55	∞	∞
100	0,46	5928,033	0	6146,253	1,157	5505,12	24,172	5539,24	∞	∞
200	2,64	8304,526	0	8658,778	2,031	7421,951	56,454	9562,30	∞	∞

На рис. 5. представлена зависимость среднего времени расчета маршрута каждым из алгоритмов для задачи коммивояжера от количества вершин графа в логарифмических единицах, за исключением алгоритма полного перебора, который имеет экспоненциальную временную зависимость.

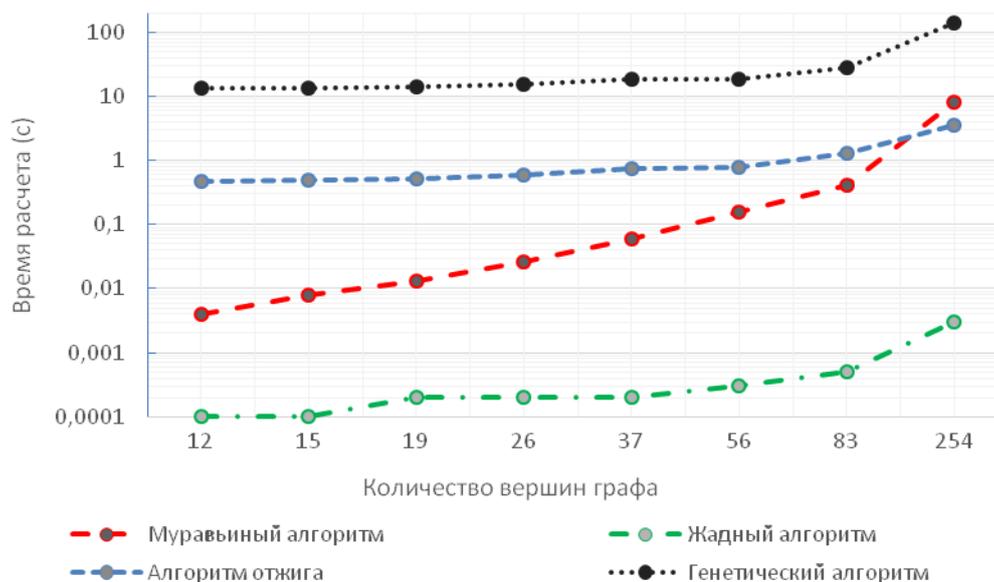


Рис. 5. Зависимость времени расчета маршрута от N для каждого из алгоритмов в логарифмических единицах

Анализ полученных временных характеристик расчета маршрута показывает, что при увеличении количества вершин в графе время, необходимое для поиска маршрута, между алгоритмами распределяется неравномерно. Самым ресурсоемким в отношении времени вычисления пути является алгоритм полного перебора, при 15 вершинах в графе время расчета маршрута составляет 5,5 ч. Так, например, для $N=15$ расчет длился 6 ч, время работы остальных алгоритмов не превысил 1 мин.

Анализ полученных характеристик протяженности маршрута на рис. 6. показывает, что при $N < 16$ генетический алгоритм выдает решение, близкое к решению, полученному алгоритмом полного перебора или ему равное. Результат работы жадного алгоритма имеет большой разброс результирующих значений.

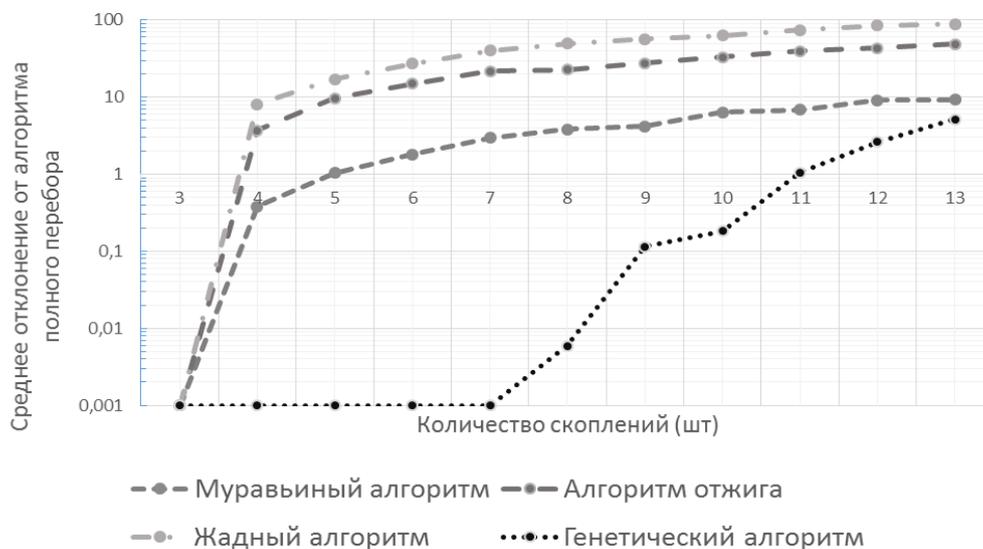


Рис. 6. Среднее отклонение результатов эвристических алгоритмов от алгоритма полного перебора

При больших значениях количества вершин графа $N > 100$ муравьиный и жадный алгоритмы начинают уступать алгоритму имитации отжига по протяженности полученных маршрутов L . В связи с этим, для улучшения работы муравьиного и генетического алгоритмов была проведена корректировка их исходных значений. Для муравьиного алгоритма увеличено количество муравьев в колонии, задействованных для поиска решения, а для генетического алгоритма увеличен размер популяции и количество генов, участвующих в процессе мутации.

Изменения параметров алгоритмов привели к увеличению времени поиска протяженности маршрута L как в муравьином, так и в генетическом алгоритме. Результаты работы муравьиного и генетического алгоритмов при изменении их исходных данных приведены на рис. 7 и на рис. 8. Анализ показал, что увеличение в муравьином алгоритме количества особей колонии со 100 до 1000 позволило получить выигрыш по сравнению с алгоритмом имитации отжига. Изменение в генетическом алгоритме размера популяции с 400 до 1000 и количества генов, участвующих в процессе мутации, с 10 до 100, не позволило получить такого же выигрыша.

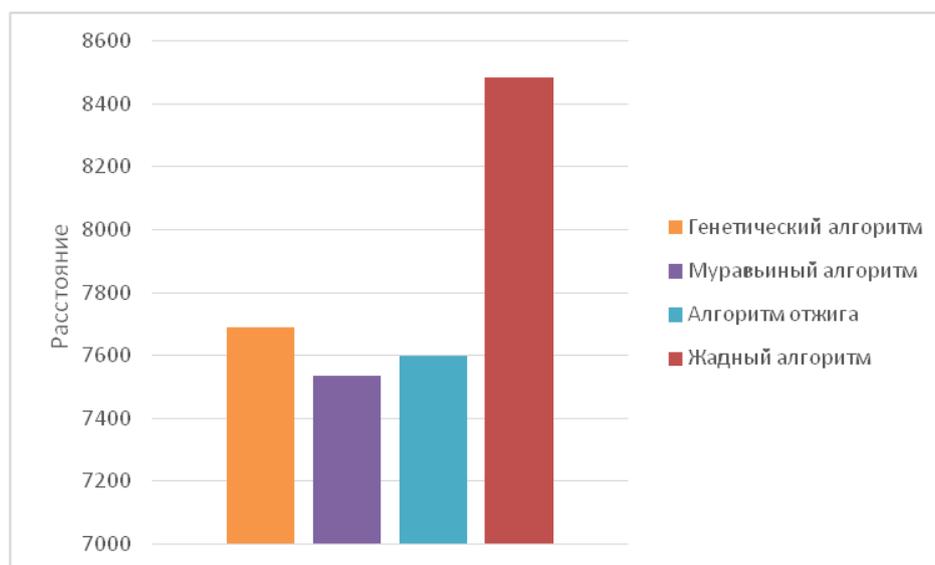


Рис. 7. Результаты расчета маршрута при количестве $N=200$

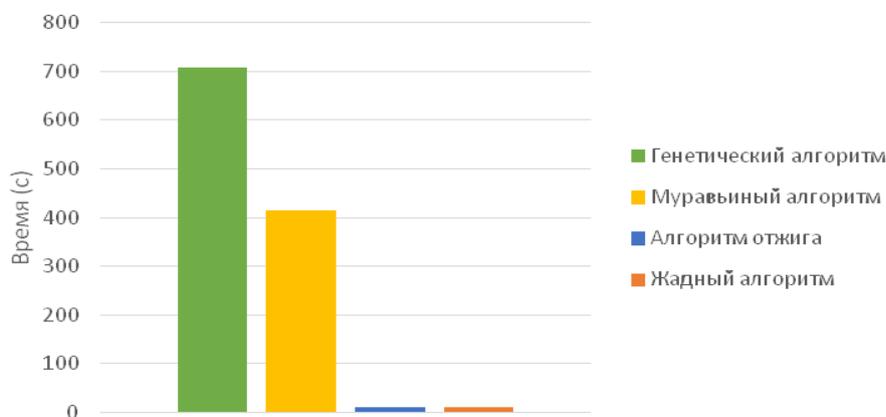


Рис. 8. Значение времени, затраченного каждым из алгоритмов для расчета маршрута при $N=200$

Дальнейшее увеличение в муравьином алгоритме количества особей колонии (агентов) с 1000 до 10000, а в генетическом алгоритме популяции с 1000 до 3000 и мутаций со 100 генов до 1000 показало, что существенного выигрыша при расчете длинны маршрута получить не удалось. В генетическом алгоритме маршрут сократился на 2,28 % от первоначального, однако время увеличилось почти в 22,5 раза; при использовании муравьиного алгоритма маршрут увеличился на 6,14 %, а время увеличилось в 2,78 раза. Данные результаты приведены на рис. 9 и на рис. 10.

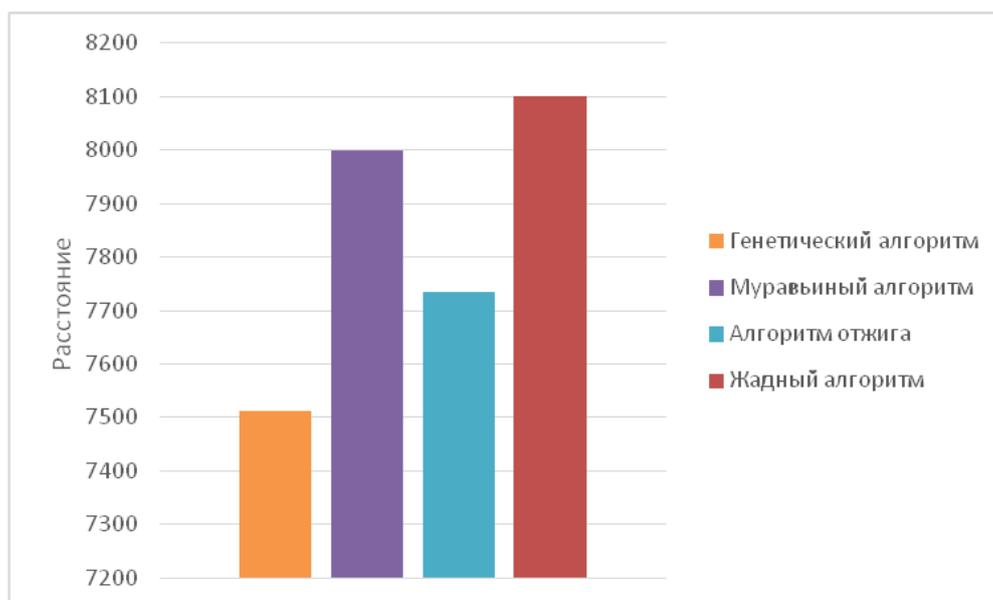


Рис. 9. Результаты расчета маршрута при $N=200$

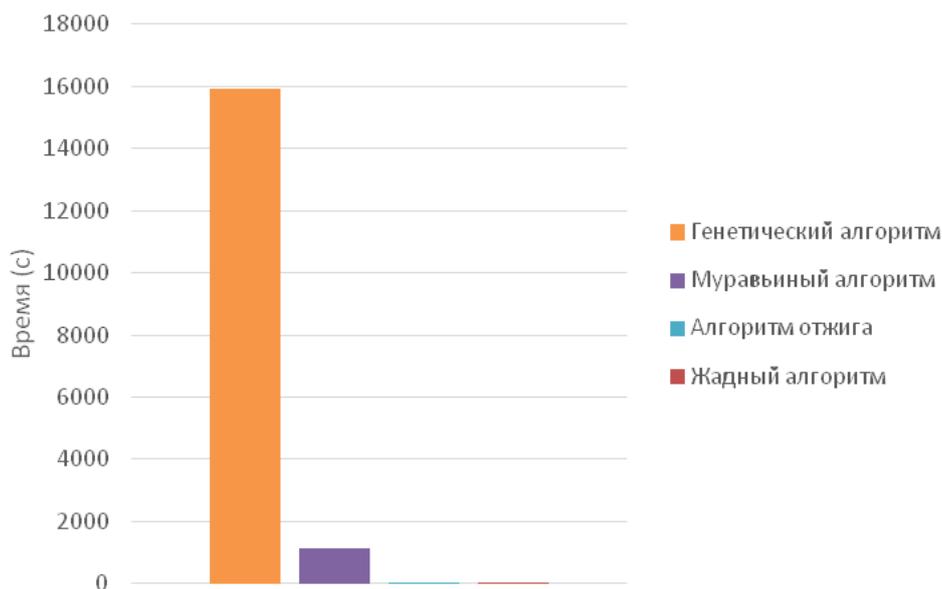


Рис. 10. Значение времени, потраченного каждым из алгоритмов для расчета маршрута при $N=200$

На рис. 11. представлен результат расчета задачи коммивояжера с помощью муравьиного алгоритма при $N=200$.

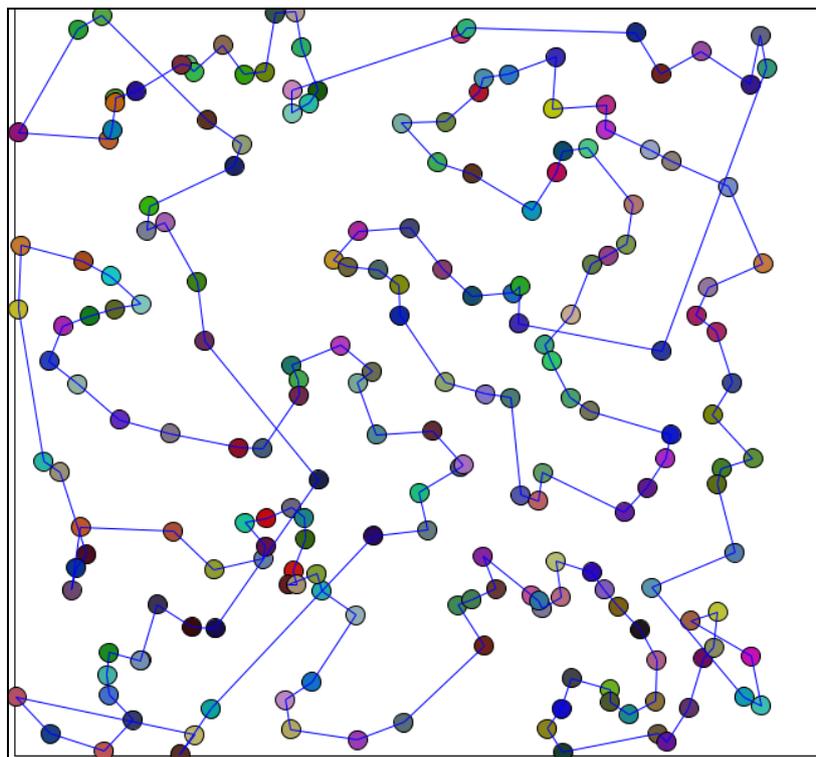


Рис. 11. Маршрут, рассчитанный с помощью муравьиного алгоритма при $N=200$

Выводы

Из проведенного анализа полученных результатов следует, что критерий выбора алгоритма для расчета маршрута будет зависеть от количества городов N и доступного ресурса машинного времени $T_{маш.}$. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- при $N < 11$ поиск маршрута целесообразно осуществлять с помощью алгоритма полного перебора, который позволяет получить точное решение за $T_{маш.} < 1$ с;
- при $N > 11$ и $N < 100$ поиск маршрута целесообразно осуществлять с помощью муравьиного и генетического алгоритмов, которые позволяют получить решения за $T_{маш.} < 1$ с и $T_{маш.} < 20$ с соответственно;
- при $N > 100$ и $N < 200$ поиск маршрута целесообразно осуществлять с помощью муравьиного и генетического алгоритмов, которые позволяют получить решения за $T_{маш.} < 3$ с и $T_{маш.} < 1$ мин соответственно.
- при $N > 11$ необходимо учитывать алгоритм имитации отжига, который позволяет получить решение за $T_{маш.} < 3$ с, результаты которого в отдельных случаях могут быть лучшими.

Для сравнения эффективности (длина пути) и стоимости (затраты времени) при любом числе городов (вершин графа) в процентном соотношении необходимо один из алгоритмов взять за базовый. Пусть это будет наихудший из алгоритмов по такому показателю как длина пути – жадный алгоритм. Далее проанализируем графики, представленные на рис. 7 и на рис. 8. Генетический алгоритм эффективней жадного алгоритма на 10,4 %, муравьиный алгоритм –

на 12,6 %, алгоритм отжига – на 11,7 %. Однако, жадный алгоритм является самым низкочастотным по времени. Так, при аналогичном анализе можно наблюдать, что генетический алгоритм требует в 70,9 раз больше времени для своей реализации, муравьиный алгоритм – в 41,5 раза больше, затраты времени на реализацию алгоритма отжига примерно равны затратам жадного алгоритма. Муравьиный и генетический алгоритмы, в зависимости от своих входных данных, могут давать более эффективные результаты по сравнению с алгоритмом имитации отжига, однако затраты времени на решение при этом значительно возрастают в сравнении с другими алгоритмами.

Литература

1. Рейндогльд Э., Део Н. Комбинаторные алгоритмы решения задачи коммивояжера. Теория и практика. – М.: Мир, 2000. – 480 с.
2. Курейчик В. М., Кажаров А. А. О некоторых модификациях муравьиного алгоритма // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2008. № 4. С. 7-12.
3. Курейчик В. М., Кажаров А. А. Использование роевого интеллекта в решении NP-трудных задач // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2011. № 7. С. 30-35.
4. Савин А. Н., Тимофеева Н. Е. Применение алгоритма оптимизации методом имитации отжига на системах параллельных и распределённых вычислений // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2012. № 1. С. 110-116.
5. Анашкина Н. В., Шурупов А. Н. Экспериментальное сравнение алгоритмов Балаша и имитации отжига в задаче решения систем линейных неравенств // Прикладная дискретная математика. Приложение. 2014. № 7. С. 151-153.
6. Курейчик В. М. Генетические алгоритмы // Известия Южного федерального округа. Технические науки. 1998. № 2. С. 5-12.
7. Луценко В. Н. Генетический алгоритм для решения транспортной задачи // Известия Южного федерального округа. Технические науки. 1996. № 1. С. 49-53.
8. Семенов С. С., Ткачев Д. Ф., Педан А. В., Алисевич Е. А., Попов А. В., Воронцов О. С., Киселев Д. В., Климов И. С. Программа для решения задачи коммивояжера с помощью генетического алгоритма // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. 2016. № 6. С. 32.
9. Семенов С. С., Ткачев Д. Ф., Педан А. В., Алисевич Е. А., Попов А. В., Воронцов О. С., Киселев Д. В., Климов И. С. Программа для решения задачи коммивояжера с помощью муравьиного алгоритма // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. 2016. № 6. С. 31
10. Семенов С. С., Воловиков В. С., Ткачев Д. Ф., Педан А. В., Киселев Д. В., Котляров Д. Ю., Вишняков Н. И. Имитационная модель ведения технической разведки техники связи и АСУ с применением средств роботизации // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. 2016. № 2. С. 15

11. Семенов С. С., Ткачев Д. Ф., Педан А. В., Щукин А. В., Ануфренко А. В., Корень М. Ю., Вишняков Н. И. Программа для расчета оптимального маршрута движения групп технической разведки техники связи и автоматизации // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. 2016. № 9. С. 6

Reference

1. Rejndogl'd Je., Deo N. *Kombinatornye algoritmy reshenija zadachi kommivojazhera. Teorija i praktika* [Combinatorial algorithms for solving the travelling salesman problem. Theory and practice]. Moscow, Mir, 2000. 480 p. (in Russian).

2. Kureichik V. M., Kazharov A. A. О некотorykh modifikatsiiah murav'inogo algoritma [About some modifications of an ant algorithm]. *Izvestiya Southern Federal University. Engineering Sciences*, 2008, no. 4, pp. 7-12 (in Russian).

3. Kureichik V. M. Kazharov A. A. Swarm intelligence using for NP-tasks solving. *Izvestiya Southern Federal University Engineering Sciences*, 2011, no. 7, pp. 30-35 (in Russian).

4. Savin A. N., Timofeeva N. E. The application of optimization algorithm using simulated annealing method for parallel computing system. *Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2012, no. 1, pp. 110-116 (in Russian).

5. Anashkina N. V., Shurupov A. N. Eksperimental'noe sravnenie algoritmov Balasha i imitatsii otzhiga v zadache resheniia sistem lineinykh neravenstv [Experimental comparison of algorithms of Balash and imitation of annealing in a task of the solution of systems of linear inequalities]. *Applied Discrete Mathematics. Supplement*, 2014, no. 7, pp. 151-153 (in Russian).

6. Kureichik V. M. Geneticheskie algoritmy [Genetic algorithms]. *Izvestiya Southern Federal University Engineering Sciences*, 1998, no. 2, pp. 5-12 (in Russian).

7. Lutsenko V. N. Geneticheskii algoritm dlja resheniia transportnoi zadachi [Genetic algorithm for the solution of a transport task]. *Izvestiya Southern Federal University Engineering Sciences*, 1996, no. 1, pp. 49-53 (in Russian).

8. Semenov S. S., Tkachev D. F., Pedan A. V., Alisevich E. A., Popov A. V., Vorontsov O. S., Kiselev D. V., Klimov I. S. Programma dlja reshenija zadachi kommivojazhjera s pomoshh'ju geneticheskogo algoritma [Program for solving the traveling salesman problem using genetic algorithm]. *Hroniki ob`edinennogo fonda jelektronnyh resursov Nauka i obrazovanie*, 2016, no. 6 pp. 32 (in Russian).

9. Semenov S. S., Tkachev D. F., Pedan A. V., Alisevich E. A., Popov A. V., Vorontsov O. S., Kiselev D. V., Klimov I. S. Programma dlja reshenija zadachi kommivojazhjera s pomoshh'ju murav'inogo algoritma [Program for solving the traveling salesman problem using ant algorithm]. *Hroniki ob`edinennogo fonda jelektronnyh resursov Nauka i obrazovanie*, 2016, no. 6, p. 31 (in Russian).

10. Semenov S. S., Volovikov V. S., Tkachev D. F., Pedan A. V., Kiselev D. V., Kotliarov D. Iu., Vishniakov N. I. Imitacionnaja model' vedenija

tehničkoj razvedki tehniki svjazi i ASU s primeneniem sredstv robotizacii [A simulation model of conducting technical intelligence communication technology and automation using robotics funds]. *Hroniki ob`edinennogo fonda jelektronnyh resursov Nauka i obrazovanie*, 2016, no. 2, p. 6 (in Russian).

11. Semenov S. S., Tkachev D. F., Pedan A. V., Shhukin A. V., Anufrenko A. V., Koren' M. Ju., Vishnjakov N. I. Programma dlja rascheta optimal'nogo marshruta dvizhenija grupp tehničkoj razvedki tehniki svjazi i avtomatizacii [The program for the calculation of the optimal route of movement of groups of technical intelligence communications engineering and automation]. *Hroniki ob`edinennogo fonda jelektronnyh resursov Nauka i obrazovanie*, 2016, no. 9, p. 6 (in Russian).

Статья поступила 28 февраля 2017 г.

Информация об авторах

Семенов Сергей Сергеевич – доктор технических наук, доцент. Профессор кафедры технического обеспечения связи и автоматизации. Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Область научных интересов: средства связи и автоматизации, телекоммуникационные системы. E-mail: semsem@yandex.ru

Педан Алексей Викторович – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Адъюнкт кафедры технического обеспечения связи и автоматизации. Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Область научных интересов: средства связи и автоматизации, телекоммуникационные системы. E-mail: mусop14@mail.ru

Воловиков Владимир Сергеевич – старший преподаватель кафедры технического обеспечения связи и автоматизации. Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Область научных интересов: средства связи и автоматизации, телекоммуникационные системы. E-mail: bbcvvc@yandex.ru

Климов Иван Сергеевич – курсант 1 факультета радиосвязи. Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Область научных интересов: средства связи и автоматизации, телекоммуникационные системы. E-mail: kuroyogu@mail.ru

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

Analysis of the Labor Intensity of Various Algorithmic Approaches for Solving the Traveling Salesman Problem

S. S. Semenov, A. V. Pedan, V. S. Volovikov, I. S. Klimov

Formulation of the problem. Analysis of existing heuristic algorithms and their complexity in solving the traveling salesman problem. **Actuality.** The traveling salesman problem is NP-hard task, i.e. an exact solution which can be obtained only in exponential time. Therefore, the exhaustive search algorithm is not efficient when we have many graph vertices. However, there are various heuristic algorithms which allow to find a rational solution to this problem with a large number of vertices for an reasonable time. The criterion is necessary for the validity of a particular algorithm in solving traveling salesman problems with different number of vertices of the graph and the available time resource for the calculation. This criterion will allow to more effectively apply a variety of algorithms for solving problems in the field of logistics, in which it is required to calculate between related vertices in the graph and in the discipline of operations research for rationale decision making in all areas of human activities. **The aim.** Description of the identified time dependencies of the task solution of the traveling salesman problem described in this article of heuristic algorithms comparison of the results obtained with the exhaustive search algorithm and description of the criterion of applicability of a particular algorithm. **Methods.** The selection criterion of the algorithm described for calculating the efficient route, it depends on the number of vertices of the graph and the available resource of computer time to calculate. **Result.** Describes the selection criterion of the algorithm for route calculation that will depend on the number of vertices of the graph and the available resource of machine time. **Practical relevance.** The opportunity to apply the necessary algorithm for solving the travelling salesman problem in various fields of human activities based on the described criteria.

Keywords: heuristic algorithms, exhaustive search, graph, efficient route, salesman.

Information about Authors

Semenov Sergey Sergeevich – holder of an Advanced Doctorate of Engineering Sciences, Associate Professor. Professor at the Department of technical equipment and automation. The Military Telecommunication Academy named after Marshal of the USSR S. M Budyonny. Field of research: communication facility and automation, system of telecommunication. E-mail: semsem@yandex.ru

Pedan Alexsey Victorovich – postgraduate student of the Department of technical equipment and automation. The Military Telecommunication Academy named after Marshal of the USSR S. M Budyonny. Field of research: communication facility and automation, system of telecommunication. E-mail: mycop14@mail.ru

Volovikov Vladimir Sergeevich – Senior Lecturer at the Department of technical equipment and automation. The Military Telecommunication Academy named after Marshal of the USSR S. M Budyonny. Field of research: communication facility and automation, system of telecommunication. E-mail: bbcvvc@yandex.ru

Klimov Ivan Sergeevich – the cadet of the 1 faculty of radio communication. The Military Telecommunication Academy named after Marshal of the USSR S. M Budyonny. Field of research: communication facility and automation, system of telecommunication. E-mail: kuroyoru@mail.ru

Address: Russia, 194064, Saint-Petersburg, Tihoreckiyy prospekt, 3.

УДК 681.3.06 (075.32)

Инновации в консолидируемых организационных системах: технологическая совместимость систем управления

Шабанов А. П.

Актуальность. В сложных условиях современного этапа развития международных отношений руководство страны предпринимает меры для консолидации усилий государственных организационных систем – министерств, служб и агентств, предприятий оборонно-промышленного комплекса, научных организаций и образовательных учреждений. В экономической деятельности наблюдается значительный рост организационных систем, объединяемых по отраслевому и/или территориальному признакам – промышленных и аграрных предприятий, банков, организаций и учреждений. Ожидается, что в результате деятельности таких конгломераций повысится безопасность страны, а экономическое развитие приобретёт дополнительное ускорение. **Проблема.** Необходимым условием успешного функционирования консолидируемых организационных систем является информационное взаимодействие между системами управления их деятельностью. Объекты управления – аппаратные и программные средства, на базе которых построены системы управления и/или управляются этими системами, и которые являются тождественными по выполняемым операциям, как правило, отличаются адресацией и/или программными кодами. В силу последнего обстоятельства, существует проблема обеспечения технологической совместимости таких систем управления. **Решение.** Данная проблема может быть разрешена в соответствии с результатами исследований, проведённых в области критических информационных технологий в части обеспечения технологической совместимости систем управления организационных систем. Представлены инновационные технические решения, в основе которых лежит целеполагание на создание единой информационной среды для объектов систем управления консолидируемых организационных систем. **Практическая значимость:** применение на практике данных решений позволит обеспечить максимальную степень автоматизации процессов передачи информации в реальном масштабе времени между компонентами систем управления взаимодействующих организационных систем. **Областью применения** являются организационные системы, которые решают общие задачи путём консолидации своих усилий в конкретном временном интервале или на постоянной основе, в том числе – объединения ситуационных центров государственных органов и региональные кластеры субъектов малого и среднего бизнеса, научных организаций и образовательных учреждений, транснациональные корпорации.

Ключевые слова: организационные системы, системы управления, критические технологии, информационное взаимодействие, технологическая совместимость, принятие решения, передача информации.

Введение

Настоящее время характеризуется похолоданием политических и экономических отношений между Россией и рядом других государств. Ведутся военные действия в соседних государствах и в разных регионах планеты. Возникла практика применения запретительных санкций против групп лиц и

Библиографическая ссылка на статью:

Шабанов А. П. Инновации в консолидируемых организационных системах: технологическая совместимость систем управления // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 132-159. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/09-Shabanov.pdf>

Reference for citation:

Shabanov A. P. Innovation in the Consolidation of Organizational Systems: The Technological Compatibility of Control Systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 132-159. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/09-Shabanov.pdf> (in Russian).

государств. Особое значение в развитии экономики в этих условиях приобретают высокотехнологичные отрасли хозяйства как важнейший источник замещения импортной продукции на внутреннем рынке. Одной из ключевых мер поддержки таких отраслей служит развитие региональных кластеров за счет установления новых и укрепления существующих связей между организационными системами – субъектами малого и среднего бизнеса, предприятиями и научными организациями [1]. Необходимым условием для такого развития становится решение проблемы технологической совместимости систем управления консолидируемых организационных систем, взаимодействующих при решении общих задач. В работе [2] обосновывается важность решения этой проблемы через обеспечение совместимости информационных систем, рассматриваются преимущества совместимости и риски, обусловленные использованием несовместимых систем и нестандартных технологий. Особую актуальность решение данной проблемы приобретает на государственном уровне при создании системы распределенных ситуационных центров, призванную образовать единую информационную среду для решения органами государственной власти плановых задач, задач по предотвращению угроз национальной безопасности и по минимизации негативных последствий от их влияния [3, 4]. При этом важная роль отводится укреплению инновационного пространства для обеспечения устойчивого социально-экономического развития России и реализации государственной научно-технической и инновационной политики [5], учёту влияния человеческого фактора на эффективность принятия решений [6]. В экономической деятельности на информацию смотрят как на ресурс – фактор производства. Рассматривают свойства информации, характеристики и другие факторы с точки зрения полезности информации для бизнеса [7]. Возникают и бурно развиваются рынки информации и различного рода информационные базы общего и коммерческого доступа, расширяется сеть систем связи, центров и комплексов управления и обработки данных [8-10], а стандартизация в данной области воспринимается руководителями организаций как средство обеспечения совместимости информационных систем [11]. Таким образом, создание единой информационной среды для объектов, относящихся к разным системам управления или управляемых ими, позволит осуществить скоординированное управление базами знаний, информационными системами и другими объектами, которые влияют на процессы и результаты деятельности консолидируемых организационных систем.

В статье приводятся обоснованные доводы о владении и грамотном пользовании современной и достоверной информацией, как одном из основных процессов, влияющих на развитие экономики регионов [12-24], краткий обзор структур систем управления известных конгломераций – региональных кластеров, находящихся в стадии образования и являющихся открытыми для вхождения в них новых организационных систем [25-30]. Выделяются общие проблемы и рассматриваются известные решения частных задач, обусловленных спецификой соответствующих отраслей хозяйствования, масштабами организационных систем и территориальными особенностями.

Особое внимание уделяется решению общей проблемы – обеспечению технологической совместимости объектов – аппаратных и программных средств систем управления деятельностью консолидируемых организационных систем. Показано, что данная проблема может быть разрешена в соответствии с результатами исследований, проведённых в области критических информационных технологий [31] в части обеспечения технологической совместимости компонентов систем управления – представлены инновационные технические решения, в основе которых лежит целеполагание на создание единой информационной среды для систем управления конгломерации [32-42].

Информационное взаимодействие – необходимое условие консолидации организационных систем

Формирование региональных кластеров и других конгломераций обусловлено необходимостью инновационного развития их составляющих – организационных систем. Современная модель инновационного роста предполагает взаимодействие власти, бизнеса, научных организаций и образовательных учреждений [12]:

- совокупность потенциальных связей между исследовательскими организациями и инновационно активными предприятиями с участием органов исполнительной власти характеризуется как инновационное пространство и рассматривается как ресурс для инноваций;
- инновационная активность региона зависит от размера пространства инноваций и эффективности его использования;
- важная роль в стимулировании взаимодействия государства, бизнеса и научно-образовательного сообщества и развитии региональных инновационных систем отводится региональным органам власти.

Однако, разработке и реализации промышленной политики, особенно в технологической сфере, сопутствует высокая неопределенность [13, с. 68]:

- продукты, которые выйдут на рынок лишь через несколько лет, могут оказаться невостребованными из-за появления более совершенных технологий;
- нередко инициативы в этом направлении терпят неудачу по причине некорректной направленности либо нецелевого использования ресурсов.

В то же время, владение инструментами Форсайта, конкурентной разведки и бизнес-аналитики для анализа внешней среды, разработки сценариев, составления дорожных карт и сканирования, позволяет [14, с. 78]:

- составить более полное представление о тенденциях развития рынков и технологий;
- сформировать локальный профиль отрасли и подобрать наиболее релевантные инструменты политики;
- получить заинтересованными лицами информацию для разработки долгосрочной политики в отношении высокотехнологичных отраслей,

базирующихся на достижениях науки.

Как видно из приведённого выше, для принятия решений органами региональной власти в различных вопросах промышленной политики требуется своевременная и достоверная информация практически о всех сторонах жизни региона: состоянии и ресурсах консолидируемых организационных систем, влиянии внешней среды и о других факторах влияния на проводимую деятельность и на достижение результатов целеполагания.

Важным разделом промышленной политики, несомненно, является предотвращение возникновения чрезвычайных техногенных ситуаций, прогнозирование и сведение к минимуму последствий от возможных природных катаклизмов [15]. Например, в силу того, что невозможно заранее достоверно определить, какая интенсивность колебаний поверхностных слоев Земли при землетрясении будет наблюдаться в районе расположения объекта или какое давление на фронте воздушной ударной волны будет действовать на сооружение, эти поражающие факторы с разной вероятностью могут принимать различные значения. Известная методология анализа риска чрезвычайных ситуаций позволяет разработать методы оценки рисков практически всех техногенных аварий и природных катастроф, в том числе взрывов, пожаров, химических и радиационных аварий, разрушений плотин, землетрясений, ураганов, наводнений и т.п. [15, с. 114]. В то же время, успешное применение данной методологии на практике в конкретных регионах потребует сбора, обработки и анализа больших массивов информации из разных источников. Это видно на примере априорного сопоставления поражающих факторов чрезвычайных ситуаций (ЧС) и их основных определяющих параметров [15, с. 115, табл. 1], с объёмом информации, требуемой для их определения (таблица 1).

Таблица 1 – Поражающие факторы ЧС и основные параметры

Виды ЧС	Поражающий фактор	Параметр
Землетрясения	Обломки зданий сооружений	Интенсивность землетрясения
Взрывы	Воздушная ударная волна	Избыточное давление во фронте воздушной ударной волны
Пожары	Тепловое излучение	Плотность теплового потока
Цунами	Волна цунами	Давление гидравлического потока
Разрушение плотин	Волна прорыва	
Радиационные аварии	Радиоактивное заражение	Дозы облучения
Химические аварии	Токсичные нагрузки	Токсодоза

Решения региональных органов власти, направленные на обеспечение выполнения общей миссии консолидируемых в региональных кластерах организационных систем, а также решения руководителей этих систем, должны учитывать, а лучше и создавать предпосылки для выживания и развития бизнеса в условиях неопределенности внешней среды. Эти решения являются стратегическими. Основные концепции и принципы принятия стратегических решений, которые являются методологической основой их обоснования,

принятия и реализации исследованы в работе [16]. Там же сформулировано утверждение о том, что ознакомление подразделений и сотрудников со стратегической информацией может способствовать активизации позиций каждого отдельного подразделения и служить источником развития конкурентных преимуществ компании. Отдельная группа топ-менеджеров или специалистов подразделения стратегического планирования зачастую в условиях стремительного изменения рынков, технологий, потребностей и тенденций может не справляться с возрастающим потоком новых данных и сформировать на их основе верное представление о бизнесе и его возможностях. Когда же для команд менеджеров различных подразделений организуется возможность обмениваться информацией и идеями, а также иметь постоянный доступ к внутренней и внешней информации, то достигается более полное понимание при работе над общими проблемами [16, с. 51]. Это показывает и то, что информационное обеспечение региональных кластеров характеризуется не только большим объёмом данных, но и своим распределённым характером – необходимостью обеспечения информационного взаимодействия между организациями, их подразделениями, группами и отдельными субъектами управления.

Следует отметить, что данная выше характеристика информационного взаимодействия распространяется и на другие конгломерации организационных систем, о чём можно судить по следующим известным результатам исследований:

- разработаны математические модели действий подразделений МЧС, органов внутренних дел и других силовых ведомств при возникновении чрезвычайной ситуации техногенного характера, среди которых можно выделить действия по установлению взаимосвязи между подразделениями МЧС России, МВД России, Минобороны России [17];
- предложены подходы к измерению и оценке семантической интероперабельности (совместимости) в деятельности финансовой организации, которые могут использоваться в решении задач, связанных с интеграцией финансовой информации, рассмотрены вопросы обеспечения совместного функционирования автоматизированных систем и использования сведений, получаемых из различных источников [18];
- показано, что в условиях переориентации российской экономики с сырьевой на инновационную модель развития, одним из способов укрепления позиций собственной промышленности становится интеграция хозяйствующих субъектов, в частности создание интегрированных промышленных структур [19], и подчёркивается актуальность сетевых взаимодействий между разными субъектами хозяйственной деятельности, которые способствуют непрерывной генерации инноваций [20];
- десятилетие накопления опыта управления процессами в распределенной среде коллаборации «АТЛАС», состоящей из более

чем 150 сайтов, объединенных для обработки данных большого физического эксперимента, привело к появлению уникальной системы, способной эффективно справляться с огромными потоками данных, функционируя в автоматическом режиме [21];

- моделирование процессов эволюционного накопления и освоения субъектами управления технологической информации выявило положительное влияние этих процессов на эффективность управления производством [22-24].

Приведённый выше анализ известных результатов исследований показывает, что необходимым условием функционирования консолидируемых организационных систем является обеспечение информационного взаимодействия между компонентами их систем управления. Это утверждение относится к информационной поддержке и при принятии стратегических решений, и при проработке отраслевых и региональных вопросов, и при работе оперативных служб.

Системы управления консолидируемых организационных систем

К консолидируемым организационным системам относятся различные кластерные образования. На основании исследования вопросов общего генезиса кластерной теории и существующих подходов к управлению кластерами в мире, а также результатов анализа организационных структур систем управления инновационными промышленными кластерами в России выделены следующие уровни и типы структуры управления кластерами [25].

1. Три основных уровня структуры системы управления кластером:
 - первый уровень управления осуществляет косвенное управление кластером (федеральные органы власти, федеральные отраслевые министерства и государственные корпорации);
 - второй уровень управления осуществляет как прямое, так и косвенное управление (региональные органы власти, региональные отраслевые министерства, транснациональные компании);
 - третий уровень – это непосредственные органы управления кластером (управляющая компания, организация-координатор, совет кластера и др.).
2. Два основных типа структур управления кластерами:
 - первый тип основан на создании совета кластера (коллегиального органа управления с участием представителей региональных органов власти и участников кластера), который принимает стратегические решения по управлению кластером, как правило, ему подчиняется управляющая компания кластера или секретариат кластера, которые занимаются исполнением данных решений;
 - второй тип структур построен на создании центра кластерного развития в регионе.

Сильные и слабые стороны типовых структур систем управления кластерами в России в настоящее время исследуются. Например, в работе [25,

с. 95, табл. 2] приведен один из примеров субъективной оценки (таблица 2).

Таблица 2 – Сильные и слабые стороны структур систем управления

Тип управления кластером	Сильные стороны	Слабые стороны
Центр кластерного развития	Отсутствие директивного управления кластером. Создание косвенных инструментов управления кластером	Отсутствие персональной ответственности за развитие кластера. Размытые обязанности и полномочия по управлению кластером. Директивное подчинение Центра региональным органам власти
Совет кластера	Наличие персональной ответственности за развитие кластера. Вовлечение участников кластера в принятие стратегических решений	Высокий риск директивного управления кластером со стороны региональных органов власти
Смешанная форма (сочетание двух типов)	Повышенное внимание к кластеру	Высокие издержки на содержание административного аппарата. Зоны ответственности (полномочий и обязанностей) данных организаций становятся размытыми. Большое количество управляющих субъектов

В каждом из региональных кластеров имеются свои особенности, связанные с решением тех или иных специфических для кластера задач, обусловленных определёнными факторами, например, размером территории, числом организационных систем – участников кластера, преобладающей промышленной или аграрной составляющей и другими. В качестве примера, рассмотрим результаты исследований по данной теме, проведённых в ряде регионов и отраслей хозяйствования.

1. В работе [26] рассмотрена проблема построения и анализа *взаимосвязей* между существенными параметрами, которые необходимо учитывать при построении двухкомпонентной модели системы управления экономическими кластерами региона. Рассматривается кластер, включающий в себя промышленные предприятия и добавленные к ним домохозяйства. Область применения модели – системы поддержки принятия управленческих решений. Результат использования модели – оптимальный сценарий решения о целесообразности привлечения инвестиций на конкурентном рынке.

2. Целью работы [27] являлось создание структурной модели системы управления инновационным потенциалом жилищно-строительного кластера. Назначением модели является разработка сценария решения, обеспечивающего благоприятные организационные и экономические условия для осуществления инновационной деятельности участников кластера и укрепление стратегически выгодных рыночных позиций. Показано, что результаты экономической деятельности хозяйствующих субъектов зависят от их *эффективного*

взаимодействия в рамках кластерной структуры, позволяющей за счет наращивания инновационного потенциала получить синергетический эффект от совместной деятельности.

3. На эффективность кластера влияет много факторов, таких как инновационная инфраструктура, модернизация промышленности и т. д. В работе [28] обосновано преобладающее значение в создании эффективного кластера наличие налаженной системы взаимоотношений хозяйствующих субъектов. Предлагается разработать единую систему *управления взаимоотношениями* внутри инновационного кластера.

4. В работе [29] рассмотрены *основные связи* и движущие силы кластера – конкуренция (между компаниями одного звена цепочки ценности) и кооперация (между компаниями смежных и совпадающих звеньев цепочки ценности). Показано, что, *взаимодействуя* с внешней средой, кластер проявляет свойства инновационности, экспортирует продукты за пределы региона и выполняет роль точки роста для региональной экономики.

5. В статье [30] на основании анализа кластеров и моделей взаимодействия внутри них – между предприятиями и центром кластерного развития показано, что умение грамотно организовать работу кластера, обеспечить *эффективное взаимодействие* предприятий между собой, а также с центром кластерного развития, приобретает все большую важность.

На основании анализа представленных выше результатов исследований актуальных вопросов построения региональных кластеров, можно судить о важности организации информационного взаимодействия на всех уровнях систем управления внутри кластеров, при управлении кластером и с внешней средой. Как следствие этого, представляется обоснованным *утверждение* о необходимости организации информационного взаимодействия консолидируемых в кластере организационных систем на основе обеспечения технологической совместимости компонентов их систем управления между собой и с компонентами системы управления органа, координирующего деятельность кластера. Несомненно, что это утверждение действительно по отношению и к другим консолидируемым организационным системам.

Технологическая совместимость компонентов систем управления

Под *технологической совместимостью* компонентов систем управления будем понимать осуществление процесса автоматической передачи управляющей информации – *команд управления*, между компонентом – источником информации и компонентом – приёмником информации при выполнении условий тождественности кодов данных о командах управления и тождественности текстовых (смысловых) значений этих кодов, которые описывают функции команд управления.

Под *компонентами* (объектами) систем управления будем понимать роботы и автоматизированные системы, информационные порталы, вычислительные комплексы, персональные компьютеры, элементы информационных систем – базы данных, серверы, компьютеры и др., элементы компьютерных сетей – коммутаторы, маршрутизаторы и др., элементы систем

сигнализации и оповещения, и другие средства, выполняющие действия и операции в соответствии с записанными или замонтированными в них программами, которые инициируются поступающими в эти объекты данными о командах управления или по времени [36, с. 240].

Смысловое значение термина «команда управления» поясняется следующими известными примерами их смыслового содержания и назначения:

- может представлять собой сценарии принятия решений, команды для настройки или управления объектами, сведения, предназначенные для хранения и использования в конкретных ситуациях, запросы на информацию или ответы на запросы, или может иметь другое смысловое значение, в зависимости от осуществляемой организационными системами деятельности [43, с. 2].
- для установления объектов поддержки организационной системы в нормированные и/или допустимые состояния с учётом их влияния на виды деятельности подразделений организационной системы, на виды деятельности организационной системы и на деятельность организационной системы в целом, в зависимости от фактической ситуации [32, с. 6];
- для управления объектами поддержки при устранении угроз для видов деятельности в подразделениях организационной системы [32, с. 8].

Областью применения данного процесса автоматической передачи команд управления является этап передачи управляющей информации в известных способах управления, реализованных, например, в следующих системах, центрах и комплексе:

- системе ситуационно-аналитических центров организационной системы [34];
- системе управления деятельностью организационных систем [44];
- центре управления организационной системы [45];
- центре мониторинга устойчивости информационных систем [46];
- центре поддержки устойчивости информационных систем [47];
- комплексе управления робототехническими объектами [48].

Перечисленные выше системы, центры и комплекс реализуют способ управления – «способ поддержки деятельности организационной системы» [32], основными этапами которого являются:

1. Формирование блоков данных:

- о нормированных показателях объектов поддержки деятельности;
- о нормированных состояниях объектов поддержки с учётом их влияния на виды деятельности в подразделениях организационной системы;
- о нормированных состояниях видов деятельности в подразделениях организационной системы, видов деятельности и деятельности организационной системы в целом;
- о критических и допустимых показателях эффективности видов деятельности в подразделениях организационной системы, видов

деятельности и деятельности организационной системы в целом;

- о командах управления, предназначенных для установления объектов поддержки организационной системы в нормированные и/или допустимые состояния с учётом их влияния на виды деятельности подразделений организационной системы, на виды деятельности организационной системы и на деятельность организационной системы в целом, в зависимости от фактической ситуации.

2. Установление объектов поддержки организационной системы в нормированные состояния с учётом их влияния на виды деятельности в подразделениях организационной системы, виды деятельности и деятельность организационной системы в целом.

3. Определение (путём сбора данных, мониторинга состояний) фактических показателей объектов поддержки организационной системы.

4. Формирование блоков данных о фактических показателях и состояниях объектов поддержки организационной системы с учётом их влияния на виды деятельности в подразделениях организационной системы, о фактических состояниях видов деятельности в подразделениях организационной системы, видов деятельности и деятельности организационной системы в целом.

5. Производство на основе сформированных данных оценки фактической эффективности:

- видов деятельности в подразделениях организационной системы;
- видов деятельности организационной системы;
- деятельности организационной системы в целом.

6. Определение на основе результатов оценки из числа сформированных блоков данных о командах управления блоков данных о командах управления, которые предназначены для установления объектов поддержки организационной системы в допустимые состояния.

7. Установление объектов поддержки организационной системы в допустимые состояния с учётом их влияния:

- на виды деятельности в подразделениях организационной системы;
- виды деятельности организационной системы;
- деятельность организационной системы в целом.

Процесс автоматической передачи команд управления осуществляется после выполнения этапов 1 и 6 с целью инициации действий (операций) соответственно в этапах 2 и 7.

Объектами поддержки являются объекты организационных систем и их подразделений (которые также являются организационными системами), включая компоненты систем управления, и объекты внешней среды.

Способ передачи команд управления

В качестве инструмента для обеспечения технологической совместимости компонентов систем управления консолидируемых организационных систем – осуществления процесса автоматической передачи управляющей информации, рассмотрим *способ передачи команд управления*, обладающий следующими

свойствами.

1. Областью применения способа являются системы управления, между компонентами (объектами) которых осуществляется передача управляющей информации. К таким системам управления относятся:

- автоматизированные системы управления деятельностью ведомств и предприятий;
- центры и пункты управления в учреждениях и научных организациях;
- ситуационные, ситуационно-аналитические и аналитические центры в ведомствах, государственных, региональных и муниципальных органах власти, другие системы;
- системы управления консолидируемых организационных систем, в том числе, системы управления региональных кластеров;
- другие системы управления.

2. Передача управляющей информации осуществляется между компонентами систем управления, причём один и тот же компонент может являться в разных циклах управления, как источником команды управления, при этом система управления, к которой он относится, является управляющей (ведущей) системой, так и приёмником команды управления, при этом его система управления является управляемой (ведомой) системой.

3. Передача команды управления осуществляется от ведущей системы, например, из сервера управления через общую шину в соединённый с ней передатчик данных, далее через сеть передачи данных и приёмник данных в соединённую с ним ведомую систему управления, например, через общую шину в сервер управления.

4. Каждая команда управления может состоять из следующих сегментов:

- *адрес*, представляющий собой информацию об адресе ведомой системы управления, в которую должна быть передана эта команда, причём это может быть электронный адрес в сети передачи данных приёмника данных, выход которого соединён через общую шину ведомой системы управления с её сервером управления;
- *инструкция*, представляющая собой кодовую информацию о действии, которое должно быть произведено в ведомой системе управления, например, это м. б. действие «записать сценарий принятия решения в систему хранения данных аудита о деятельности организационной системы», как выполняется в системе [34];
- *приложение к инструкции* – представляет собой информационный объект, используемый при производстве действий в соответствии с инструкцией, например, это может быть «сценарий принятия решения», как выполняется в системе [35].

При этом:

- в случае наличия прямого канала передачи данных – информационного тракта, между взаимодействующими системами управления сегмент *адреса* в команде управления может отсутствовать, а, следовательно, и могут отсутствовать данные об

адресе в исходной команде управления, по меньшей мере, при наличии прямого соединения в сети передачи данных, телекоммуникационной сети или цифровой системе связи между передатчиком данных, соединённым с ведущей системой управления, и приёмником данных, соединённым с ведомой системой управления;

- в случае наличия во взаимодействующих системах управления баз знаний о командах управления, тождественных по выполняемым действиям и не требующих приложений, например, как выполняется в системе [35; 36, с. 225], сегмент *приложения к инструкции* в команде управления может отсутствовать, а, следовательно, могут отсутствовать данные о приложении к инструкции в данных об исходной команде управления;
- при обоих указанных выше условиях команда управления может включать только сегмент *инструкции*.

5. Аппаратно-программные платформы взаимодействующих систем управления могут быть построены разными компаниями на технических и программных средствах от разных производителей и произведённых на разных предприятиях, поэтому тождественные по функциям команды управления в разных системах управления могут отличаться программными кодами.

Задачей, решение которой обеспечивает представляемый здесь способ передачи команд управления, является повышение эффективности систем управления деятельностью организационных систем за счёт обеспечения автоматической передачи управляющей информации – команд управления, в условиях отсутствия тождественности программных кодов команд во взаимодействующих системах управления.

Техническим результатом, на достижение которого направлен настоящий способ, является расширение функциональных возможностей за счёт возможности автоматического преобразования исходных данных о команде управления, сформированных в одной, ведущей, системе управления, в данные о функции этой команды, передачи их в соответствии с адресом, формирования выходных данных о команде управления с учётом данных о её функции и передачи их в другую, ведомую, систему управления.

Способ передачи команд управления характеризуется тем, что содержит этапы, на которых выполняются следующие действия.

1. Формируют и запоминают в каждом передатчике данных блоки данных о командах управления, каждый из которых содержит:

- *данные об инструкции*, представленные программными кодами того компонента системы управления, с которым соединён передатчик данных;
- *данные о названии* этой инструкции, представляющем собой текстовую информацию о функции, которая должна быть выполнена в соответствии с инструкцией.

2. Формируют и запоминают в каждом приёмнике данных блоки данных о функциях команд управления, каждый из которых содержит:

- *данные о названии* инструкции, представленные кодами, тождественными кодам данных о соответствующем названии инструкции, которые запомнены в передатчиках;
- *данные об инструкции*, соответствующей этому названию, представленные кодами той системы управления, с которой соединён приёмник данных;
- *данные об адресе* компонента системы управления, с которой соединён приёмник данных, и над которым должны произвести операции (действия) в соответствии с этой *инструкцией*.

3. В передатчике данных, соединённый с ведущей системой управления:

- *принимают и запоминают* данные об исходной команде управления, поступившие из ведущей системы управления, которые включают данные об адресе ведомой системы управления, данные об инструкции, представленные в кодах ведущей системы управления и данные о приложении к инструкции, представленные в кодах, которые однозначно воспринимаются ведущей и ведомой системами управления;
- *выбирают* из данных о командах управления, хранящихся в передатчике данных, данные о названии инструкции, которое соответствует инструкции, данные о которой приняты в составе данных об исходной команде управления;
- *преобразуют* данные об исходной команде управления в данные об исходной функции команды управления, которые включают данные об адресе ведомой системы управления, данные о названии инструкции и данные о приложении к инструкции;
- *передают* данные об исходной функции команды управления в сеть передачи данных.

4. В сети передачи данных передают данные о названии инструкции и данные о приложении к инструкции, представляющие вместе данные о выходной функции команды управления, в соответствии с данными об адресе из состава данных об исходной функции команды управления, в приёмник данных, соединённый с ведомой системой управления.

5. В приёмнике данных, соединённым с ведомой системой управления:

- *принимают и запоминают* данные о выходной функции команды управления, поступившие из сети передачи данных;
- *выбирают* из данных о функциях команд управления, хранящихся в приёмнике данных, данные об инструкции, которая соответствует названию инструкции, данные о котором приняты в составе данных о выходной функции команды управления, и данные об адресе компонента, над которым должны произвести действия в соответствии с этой инструкцией;
- *преобразуют* данные о выходной функции команды управления в данные о выходной команде управления, которые включают

данные об адресе компонента, данные об инструкции и данные о приложении к инструкции;

- *передают* выходные данные о команде управления в ведомую систему управления.

Сущность технического решения и последовательность выполнения действий способа поясняется рисунками.

Структура исходной команды управления, представленная на рис. 1, отображает её составные части – адрес ведомой системы управления, инструкцию и приложение к инструкции, и пояснение к ним. Эти данные поступают из ведущей системы управления в передатчик данных, в котором преобразуются в данные об исходной функции команды управления.



Рис. 1. Структура исходной команды управления

Структура исходной функции команды управления, представленная на рис. 2, отображает её составные части – адрес ведомой системы управления, название инструкции и приложение к инструкции, и пояснения к ним. Данные об исходной функции команды управления поступают из передатчика данных в сеть передачи данных. Сеть передачи данных передаёт данные о названии инструкции и данные о приложении к инструкции в соответствии с данными об адресе из состава данных об исходной функции команды управления в приёмник данных, соединённый с ведомой системой управления.



Рис. 2. Структура исходной функции команды управления

Структура выходной функции команды управления, представленная на рис. 3, отображает её составные части – название инструкции и приложение к инструкции, и пояснение к ним. Данные о выходной функции команды управления поступают из сети передачи данных на вход соединённого с ведомой системой управления приёмника данных, в котором преобразуются в данные о выходной команде управления.

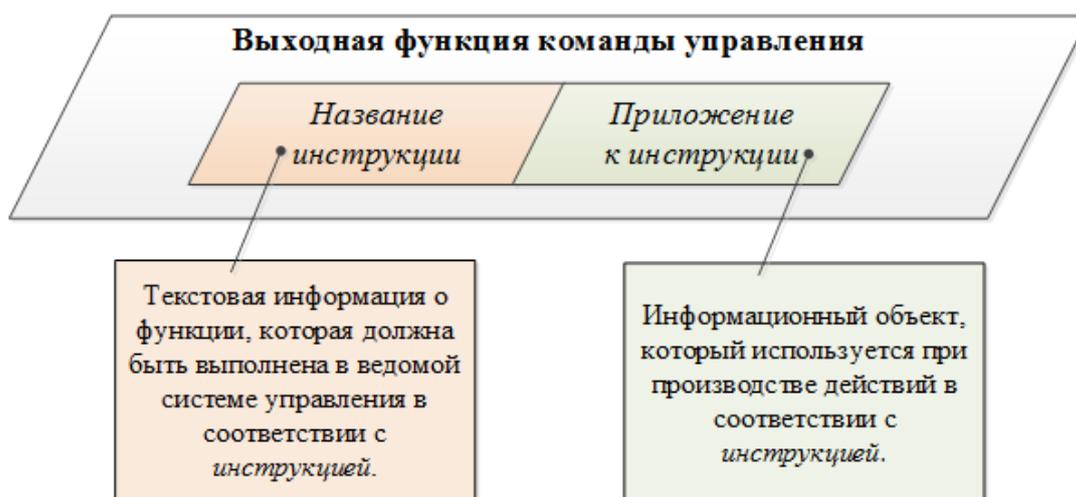


Рис. 3. Структура выходной функции команды управления

Структура выходной команды управления, представленная на рис. 4, отображает её составные части – адрес компонента ведомой системы управления, инструкцию и приложение к инструкции, и пояснение к ним. Эти данные поступают в ведомую систему управления.



Рис. 4. Структура выходной команды управления

Способ передачи команд управления может быть промышленно реализован с помощью системы передачи данных, структурная схема которой приведена на рис. 5, в составе передатчика данных [37] и приёмника данных [38], информация о которых приведена в работе [36, с. 250], и с использованием сети передачи данных.

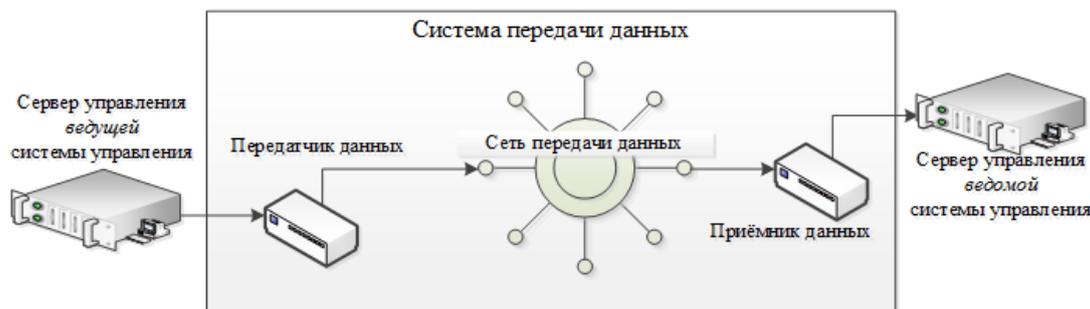


Рис. 5. Структурная схема системы передачи данных

Структурные схемы передатчика и приёмника данных приведены соответственно на рис. 6 и рис. 7.

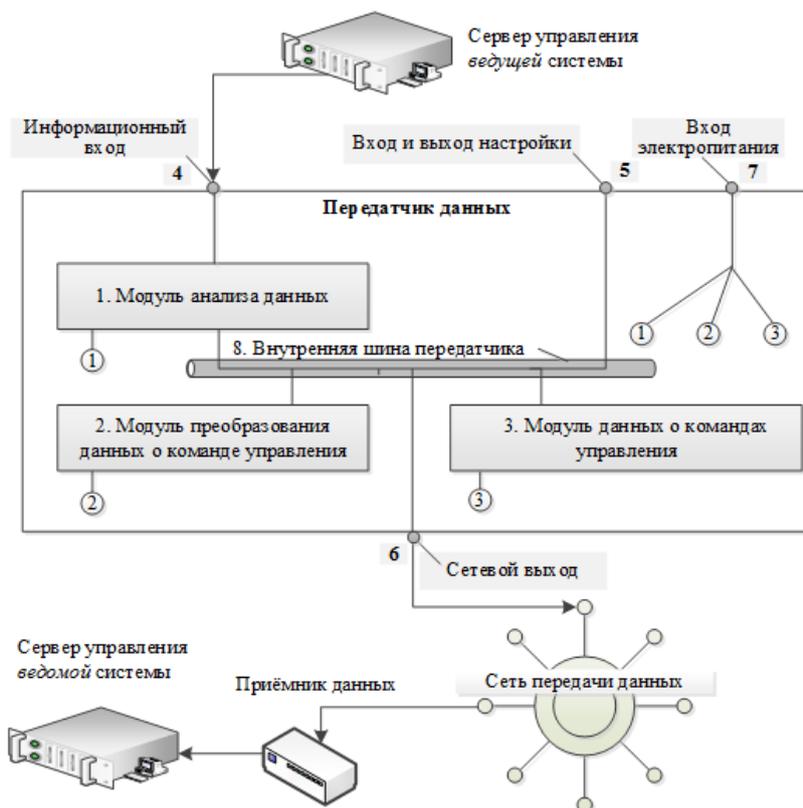


Рис. 6. Структурная схема передатчика данных

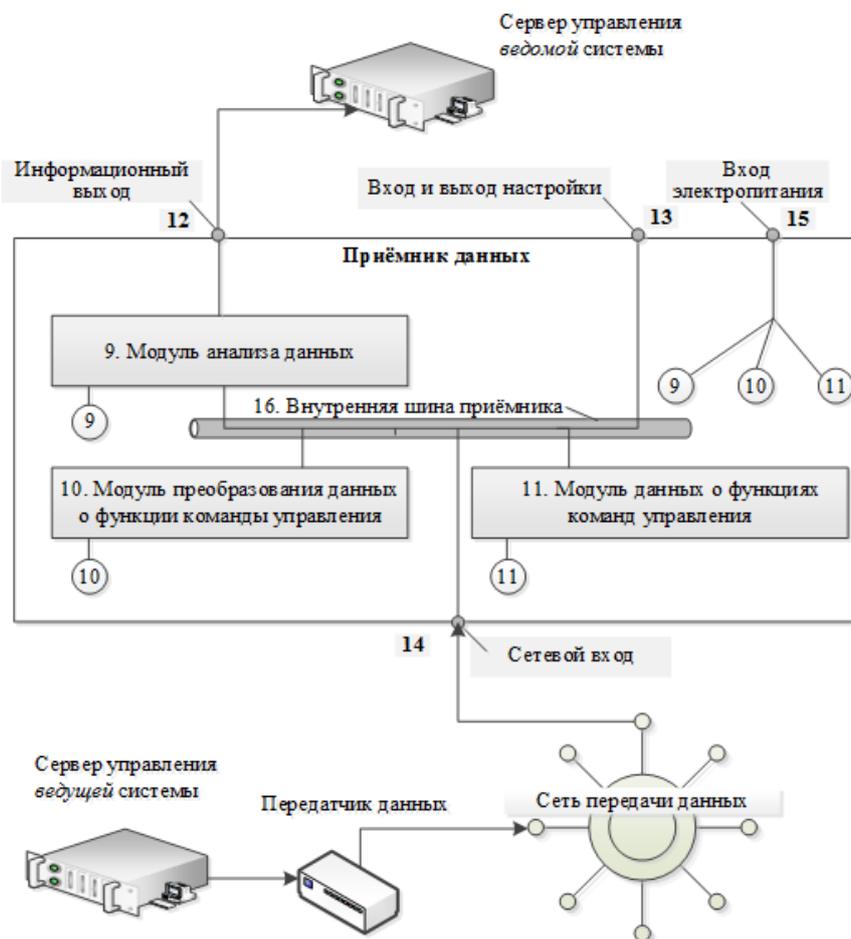


Рис. 7. Структурная схема приёмника данных

Система передачи данных, реализующая способ передачи команд управления работает следующим образом (рис. 5, рис. 6, рис. 7):

1. Формируют и запоминают в модуле 3 передатчика данных блоки данных о командах управления, каждый из которых содержит:

- *данные об инструкции*, представленные кодами ведущей системы управления, с которой соединён передатчик данных;
- *данные о названии* этой инструкции, представляющем собой текстовую информацию о функции, которая должна быть выполнена в ведомой системе управления в соответствии с инструкцией.

2. Формируют и запоминают в модуле 11 приёмника данных блоки данных о функциях команд управления, каждый из которых содержит:

- *данные о названии* инструкции, представленные кодами, тождественными кодам данных о соответствующем названии инструкции, которые запомнены в передатчике данных;
- *данные об инструкции*, соответствующей этому названию, представленные кодами ведомой системы управления, с которой соединён приёмник данных;
- *данные об адресе* компонента системы управления, с которой соединён приёмник данных, и над которым должны произвести операции (действия) в соответствии с этой *инструкцией*.

3. В передатчике данных:

- *принимают* из ведущей системы управления с информационного входа 4 в модуле 1 данные об исходной команде управления (рис. 1), которые включают данные об адресе ведомой системы управления, данные об инструкции, представленные в кодах ведущей системы управления и данные о приложении к инструкции, представленные в кодах, которые однозначно воспринимаются ведущей и ведомой системами управления;
- *выбирают* в блоках данных о командах управления, запомненных в модуле 3, и в соответствии с данными об инструкции, входящими в состав данных об исходной команде управления (рис. 1), данные о названии инструкции;
- *преобразуют* в модуле 2 данные об исходной команде управления в данные об исходной функции команды управления (рис. 2), которые включают данные об адресе ведомой системы управления, данные о названии инструкции и данные о приложении к инструкции;
- *передают* данные об исходной функции команды управления через сетевой выход 6 в сеть передачи данных;
- обмен данными между модулями 1, 2, 3 и сетевым входом 6 осуществляется с помощью внутренней шины 8 передатчика;
- настройка модулей осуществляется с помощью рабочей станции администратора, соединённой через вход/выход 5 настройки передатчика и его внутреннюю шину 8 с внутренними входами/выходами модулей 1, 2 и 3;

- электропитание модулей осуществляется от устройства электропитания, соединённого через вход 7 электропитания передатчика с входами электропитания модулей 1, 2 и 3;
- модули 1, 2 и 3 передатчика данных могут быть выполнены на основе известных вычислительных средств, путём программного исполнения приведённых в описании операций, например, на базе микро-ЭВМ.

4. В сети передачи данных передают данные о названии инструкции и данные о приложении к инструкции, представляющие вместе данные о выходной функции команды управления (рис. 3), в соответствии с данными об адресе из состава данных об исходной функции команды управления (рис. 2), в приёмник данных, соединённый с ведомой системой управления.

5. В приёмнике данных:

- *принимают* из сети передачи данных с сетевого входа 14 через внутреннюю шину 16 приёмника в модуле 9 данные о выходной функции команды управления (рис. 3);
- *выбирают* в блоках данных о функциях команд управления, запомненных в модуле 11, и в соответствии с данными о названии инструкции, входящими в состав данных о выходной функции команды управления, данные об инструкции и данные об адресе компонента, над которым должны произвести действия в соответствии с этой инструкцией;
- *преобразуют* в модуле 10 данные о выходной функции команды управления в данные о выходной команде управления (рис. 4), которые включают данные об адресе компонента, данные об инструкции и данные о приложении к инструкции;
- *передают* выходные данные о команде управления через модуль 9 и информационный выход 12 в ведомую систему управления;
- обмен данными между модулями 9, 10, 11 и сетевым входом 14 осуществляется с помощью внутренней шины 16 приёмника;
- настройка модулей осуществляется с помощью рабочей станции администратора, соединённой через вход/выход 13 настройки приёмника и его внутреннюю шину 16 с внутренними входами/выходами модулей 9, 10, 11;
- электропитание модулей осуществляется от устройства электропитания, соединённого через вход 15 электропитания приёмника с входами электропитания модулей 9, 10, 11;
- модули 9, 10, 11 приёмника данных могут быть выполнены на основе известных вычислительных средств, путём программного исполнения приведённых в описании операций, например, на базе микро-ЭВМ.

В качестве сети передачи данных могут быть использованы технические решения по сетям передачи данных [39], по сетям коммутации пакетов [40], по цифровым системам связи [41; 42, с. 37] (рис. 23) или другие известные технические решения. Выбор того или иного технического решения, например, из комплекса решений, приведённых в работе [42], производится в зависимости

от места расположения организационных систем, между которыми осуществляется передача команд управления, и от других факторов.

Таким образом, рассмотренный способ передачи команд управления характеризуется этапами, в которых на передающей стороне принимают данные об исходной команде, включая адрес ведомой системы управления, инструкцию, которую надо выполнить, информацию, используемую при этом. Причём данные об инструкции принимаются в кодах ведущей системы управления. Исходные данные преобразуются в данные о функции команды и передаются по адресу в сети передачи данных. На приёмной стороне производят обратные преобразования с учётом данных о функции и в ведомую систему управления передают данные о команде, включая инструкцию, которую надо выполнить, адрес компонента над которым должны выполняться действия, и информацию, используемую при этом. Причём данные об инструкции передаются в кодах ведомой системы управления.

Важным свойством представленного способа передачи команд управления является способность обеспечить передачу информации между компонентами из состава взаимодействующих систем управления или из состава управляемых этими системами объектов поддержки деятельности организационной системы.

Данное свойство способа является *необходимым условием* для его использования в качестве инструмента при обеспечении технологической совместимости систем управления консолидируемых организационных систем, в том числе в региональных кластерах, и для создания на этой основе единой информационной среды объектов управления.

Общим положительным эффектом от применения данного способа является повышение эффективности систем управления деятельностью организационных систем за счёт обеспечения автоматической передачи управляющей информации в реальном масштабе времени в условиях отсутствия тождественности программных кодов команд управления.

Заключение

Внедрение способа передачи команд управления в системы управления организационных систем в качестве инструмента обеспечения их технологической совместимости позволит построить на этой основе единые информационные среды объектов управления в консолидируемых организационных системах – объединениях ситуационных центров государственных органов, региональных кластерах субъектов малого и среднего бизнеса, научных организаций и образовательных учреждений, других.

Применение на практике представляемых в статье результатов исследований позволит обеспечить максимальную степень автоматизации процессов передачи информации в реальном масштабе времени между системами управления взаимодействующих организационных систем, независимо от их отраслевой, региональной или государственной деятельности.

Инновационность представленных в статье технических решений

заключается в их способности автоматической передачи управляющей информации между компонентами взаимодействующих систем управления в условиях отсутствия тождественности программных кодов и при разных системах адресации.

Литература

1. Земцов С., Барина В., Панкратов А., Куценко Е. Потенциальные высокотехнологичные кластеры в российских регионах: от текущей политики к новым точкам роста // Форсайт. 2016. Том 10. № 3. С. 34–52. – URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26718339> (дата обращения 28.03.2017).
2. Брауде-Золотарев М., Гребнев Г., Ермаков Р., Рубанов Г., Сербина Е. Интероперабельность информационных систем. Сборник материалов – М.: INFO-FOSS.RU, 2008. – 128 с. – URL: <http://www.ifap.ru/library/book358.pdf> (дата обращения 28.03.2017).
3. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Технология информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2015. – 232 с. – URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26346357> (дата обращения 28.03.2017).
4. Проскурин О. Н. Информационная совместимость – обязательное условие реализации концепции «сетцентрических войн» // Известия российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2011. № 70. С. 45–51. – URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17060799> (дата обращения 28.03.2017).
5. Васин В. А., Миндели Л. Э. Пространственные аспекты формирования и развития национальной инновационной системы // Инновации. 2011. № 11 (157). С. 24–34. – URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18017310> (дата обращения 28.03.2017).
6. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Эффективность ситуационных центров и человеческий фактор // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2013. № 3 (5). С. 43–53.
7. Зусев Г. Ю. Трансформация условий и инструментов формирования человеческого капитала в информационном обществе. Дисс. ... канд. экон. наук. – Курск: Юго-западный государственный университет, 2012. – 197 с. – URL: <http://www.dissercat.com/content/transformatiya-uslovii-i-instrumentov-formirovaniya-chelovecheskogo-kapitala-v-informatsion> (дата обращения 28.03.2017).
8. Плотников В. А., Койда С. П. Информационная инфраструктура и ее роль в обеспечении инновационного развития бизнеса // Экономика и управление. 2014. № 1. С. 30–35. – URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21248160> (дата обращения 28.03.2017).
9. Шабанов А. П. Подход к выбору направления автоматизации деятельности // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды VI Всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк, СибГИУ, 2007. – С. 81–85.
10. Шабанов А. П. Исследование граничных условий стабильности информационной системы // Бизнес-информатика. 2010. № 2 (12). С. 24–36.

11. Мамыкин В. Открытые стандарты и совместимость ИС // LAN: Журнал сетевых решений. 2006. № 11. – URL: <http://www.osp.ru/lan/2006/11/3675867/> (дата обращения 28.03.2017).
12. Макаров В., Айвазян С., Афанасьев М., Бахтизин А., Нанавян А. Моделирование развития экономики региона и эффективность пространства инноваций // Форсайт. 2016. Том: 10. № 3. С. 76-90.
13. Кэлоф Д., Ричардс Г., Смит Д. Форсайт, конкурентная разведка и бизнес аналитика — инструменты повышения эффективности отраслевых программ // Форсайт. 2015. Том 9. № 1. С. 68-81.
14. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Системные аспекты эффективности ситуационных центров // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2013. № 2 (4). С. 110-123.
15. Александров А. А., Ларионов В. И., Суцев С. П. Единая методология анализа риска чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Естественные науки”. 2015. № 1. С. 113-131.
16. Кравченко Т. К., Дружаев А. А., Гоменюк К. С. Инновационный характер стратегических решений // Менеджмент и бизнес-администрирование. 2015. № 1. С. 45-58.
17. Меньших В. В., Корчагин А. В. Структурные модели взаимодействия подразделений силовых ведомств при возникновении чрезвычайных ситуаций техногенного характера // Труды Академии управления МВД России. 2015. № 2 (34). С. 54-58.
18. Рейнгольд Л. А., Волков А. И., Копайгородский А. Н., Пустозеров Е. Ю. Семантическая интероперабельность в решении финансовых задач и способы ее измерения // Прикладная математика. 2016. Том 11. № 4 (64). С. 115.
19. Здольникова С. В. Организационно-экономический механизм управления инновационным потенциалом интегрированных промышленных структур // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2016. № 4 (246). С. 109-122.
20. Волкова М. С. Социальное предпринимательство как институт коллаборации в модели сетевого взаимодействия субъектов хозяйственной деятельности // Актуальные вопросы экономики и управления. 2016. Том 11. № 7. С. 5-12.
21. Петросян А. Ш. Современное использование сетевой инфраструктуры в системе обработки задач коллаборации ATLAS // Компьютерные исследования и моделирование. 2015. Том: 7. № 6. С. 1343–1349.
22. Шабанов А. П. Модель оценки влияния процесса накопления информации на эффективность управления производством // Системы управления и информационные технологии. 2006. Том 25. № 3. С. 57-61.
23. Шабанов А. П. Метод оценки достаточности мощности однородной организационной структуры // Системы управления и информационные технологии. 2005. Том: 20. № 3. С. 103-106.
24. Шабанов А. П. Ось адаптивного управления: «информационная

система – организационные структуры массового обслуживания» // Бизнес-информатика. 2010. № 3 (13). С. 19-26.

25. Скворцов Е. Н., Гуськова Н. Д. Анализ организационных структур систем управления инновационными промышленными кластерами в России // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2016. № 1 (235). С. 86-99.

26. Бильчинская С. Г., Сюльжин И. Н., Чернявский Ю. А., Шабинская Е. В. Анализ двухкомпонентной модели системы управления экономическими кластерами региона // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2015. № 34. С. 102-107.

27. Кузовлева И. Н., Прокопенкова В. В. Система управления инновационным потенциалом жилищно-строительного кластера // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 11. С. 81-84.

28. Щербинина Е. А. Модель управления системой взаимоотношений субъектов инновационного кластера // Экономика и предпринимательство. 2015. № 11-2 (64-2). С. 798-801.

29. Костенко О. В. Кластер как объект управления и социально-экономическая система // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 6 (49). С. 75-80.

30. Щербинина Е. А., Зинкина Ю. И. Модель системы управления промышленным инновационным кластером // Экономика и предпринимательство. 2015. № 6-2 (59-2). С. 470-473.

31. Зацаринный А. А., Козлов С. В., Шабанов А. П. Об информационной поддержке деятельности в системах управления критическими технологиями на основе ситуационных центров // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 98-113.

32. Зацаринный А. А., Сучков А. П., Шабанов А. П. Способ поддержки деятельности организационной системы // Патент на изобретение RU 2532723 С2, опубл. 10.11.2014, бюл. № 31.

33. Шабанов А. П. Инновации: от устройств обмена информацией до интегрированных систем управления. Часть 2 – Управление деятельностью организационных систем // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 3. С. 179-226.

34. Зацаринный А. А., Козлов С. В., Сучков А. П., Шабанов А. П. Система ситуационно-аналитических центров организационной системы // Патент на изобретение RU 2533090 С2, опубл. 20.11.2014, бюл. № 32.

35. Козлов С. В., Козлов В. С., Шабанов А. П. Способ передачи информации // Патент на изобретение RU 2560820 С2, опубл. 20.08.2015, бюл. № 23.

36. Шабанов А. П. Инновации: от устройств обмена информацией до интегрированных систем управления. Часть 3 – Интегрированные системы управления робототехническими объектами // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 4. С. 214-260.

37. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Передатчик данных // Патент на полезную модель RU 165924 U1, опубл. 10.11.2016, бюл. № 31.

38. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Приёмник данных // Патент на полезную модель RU 165993 U1, опубл. 10.11.2016, бюл. № 31.
39. Масич Г. Ф. Сети передачи данных. – Пермь: НИПУ. 2014. – 192 с.
40. Мизин И. А., Богатырев В. А., Кулешов А. П. Сети коммутации пакетов. – М.: Радио и связь. 1986. – 408 с.
41. Шабанов А. П., Родин А. С. Многоканальная цифровая система связи // Авторское свидетельство SU 1800631 A1, опубл. 07.03.93 г. в бюл. № 9.
42. Шабанов А. П. Инновации: от устройств обмена информацией до интегрированных систем управления. Часть 1 – Устройства обмена информацией // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 2. С. 1-43.
43. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Комплекс информационное взаимодействие // Патент на полезную модель RU 160257 U1, опубл. 10.03.2016, бюл. № 7.
44. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Система управления деятельностью организационных систем // Патент на изобретение RU 2595335 C2, опубл. 27.08.2016, бюл. № 24.
45. Зацаринный А. А., Козлов С. В., Сучков А. П., Шабанов А. П. Центр управления организационной системы // Патент на полезную модель RU 127493 U1, опубл. 27.04.2013, бюл. № 12.
46. Голяндин А. Н., Шабанов А. П. Центр мониторинга устойчивости информационных систем // Патент на полезную модель RU 130109 U1, опубл. 10.07.2013, бюл. № 19.
47. Голяндин А. Н., Шабанов А. П. Центр поддержки устойчивости информационных систем // Патент на полезную модель RU 132227 U1, опубл. 10.09.2013, бюл. № 25.
48. Козлов С. В., Козлов В. С., Шабанов А. П. Комплекс управления робототехническими объектами // Патент на полезную модель RU 140887 U1, опубл. 20.05.2014, бюл. № 14.

References

1. Zemtsov S., Barinova V., Pankratov A., Kutsenko E. Potential High-Tech Clusters in Russian Regions: From Current Policy to New Growth Areas. *Foresight and STI Governance*, 2016, vol. 10, no 3, pp. 34–52. DOI: 10.17323/1995-459X.2016.3.34.52. Available at: <https://foresight-journal.hse.ru/2016-10-3/191162713.html> (accessed 09 December 2016) (in Russian).
2. Braude-Zolotarev M., Grebnev G., Yermakov R., Rubanov G., Serbina E. *Interoperability of information systems*. Compendium. Moscow, INFO-FOSS.RU, 2008. 128 p. Available at: <http://www.ifap.ru/library/book358.pdf> (accessed 09 December 2016) (in Russian).
3. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A. P. *Information technology support for the activities of the organizational systems based on situational centers*. Moscow, TORUS PRESS, 2015. 232 p. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26346357> (accessed 09 December 2016) (in Russian).
4. Proskurin O. N. Compatibility information is a mandatory condition of implementation of the concept of «network-centric warfare». *Proceedings of the*

Russian Academy of missile and artillery Sciences, 2011, no 70, pp. 45–51. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17060799> (accessed 09 December 2016) (in Russian).

5. Vasin V. A., Mindeli L. E. Spatial aspects of formation and development of national innovation system. *Innovation*, 2011, vol. 157, no. 11, pp. 24–34. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18017310> (accessed 09 December 2016) (in Russian).

6. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A. P. Effectiveness of situation centres and the human factor. *Vestnik moskovskogo Universiteta im. Sergey Witte. Series 1: Economics and management*, 2013, vol. 5, no. 3, pp. 43-53 (in Russian).

7. Zusev G. U. *Transformation conditions and tools for the formation of human capital in a knowledge-based society*. Dis. Ph.D. of Econ. Sciences. Kursk, 2012. 197 p. Available at: <http://www.dissercat.com/content/transformatsiya-uslovii-i-instrumentov-formirovaniya-chelovecheskogo-kapitala-v-informatsion> (accessed 09 December 2016) (in Russian).

8. Plotnikov V. A., Kojda S. P. Information infrastructure and its role in providing innovative business development. *Economics and management*, 2014, no. 1, pp. 30–35. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21248160> (accessed 09 December 2016) (in Russian).

9. Shabanov A. P. Approach to the choice of direction of automation activities.. *Automation system in education, science and production: Proc. of VI all-Russia scientific-practical Conference*, Novokuznetsk, SibGIU, 2007, pp. 81-85 (in Russian).

10. Shabanov A. P. Study on boundary conditions of stability information system. *Business Informatics*, 2010, vol. 12, no. 2, pp. 24-36 (in Russian).

11. Mamikin V. Open standards and IS compatibility // Publishing House «Open systems». *LAN. Journal of network solutions*, 2006, no. 11. Available at: <http://www.osp.ru/lan/2006/11/3675867/> (accessed 09 December 2016) (in Russian).

12. Makarov V., Ajvazjan S., Afanasjev M., Bahtizin A., Nanavjan A. Modeling the development of regional economy and space efficiency innovations. *Forsight*, 2016, vol. 10, no. 3, pp. 76-90 (in Russian).

13. Kelof D., Richrds G., Smith D. Forsight, ompetitive intelligence and business analytics — tools to improve sectoral programmes. *Forsight*, 2015, vol. 9, no. 1, pp. 68-81 (in Russian).

14. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A. P. Systemic aspects of the effectiveness of situational centers. *Vestnik moskovskogo Universiteta IM. Sergey Witte. Series 1: Economics and management*, 2013, vol. 4, no. 2, pp. 110-123 (in Russian).

15. Aleksandrov A. A., Larionov V. I., Sushev S. P. A common methodology for risk analysis of man-made emergencies and natural disasters. *Vestnik MGTU IM. N.E. Baumana. Ser. "Natural science"*, 2015, no. 1, pp. 113-131 (in Russian).

16. Kravchenko T. K., Drugaev A. A., Gomenuk K. S. The innovative nature of the strategic solutions. *Management and business administration*, 2015, no. 1, pp. 45-58 (in Russian).

17. Menshih V. V., Korchagin A. V. Structural model of interaction of law enforcement units in man-made emergencies. *Proceedings of the Academy of Ministry of Internal Affairs of Russia*, 2015, vol. 34, no. 2, pp. 54-58 (in Russian).
18. Rejngold L. A., Volkov A. I., Kopajgorodskij A. N., Pustozherov E. U. Semantic interoperability in addressing financial challenges and how to measure it. *Applied mathematics*, 2016, vol. 11, no. 4 (64), pp. 115 (in Russian).
19. Zdolnikova S. V. Organizational-economic mechanism of innovative potential of integrated industrial structures. *Scientific and technical statements of SPbGPU. Economic Sciences*, 2016, vol. 246, no. 4, pp. 109-122 (in Russian).
20. Volkova M. S. Social entrepreneurship as Institute collaborations in networking models of subjects of economic activities. *Topical issues of Economics and management*, 2016, vol. 11, no. 7, pp. 5-12 (in Russian).
21. Petrosjan A. S. Contemporary usage of the network infrastructure in the system task processing collaborations ATLAS. *Computer research and modeling*, 2015, vol. 7, no. 6, pp. 1343–1349 (in Russian).
22. Shabanov A. P. Model for the assessment of the impact of the process of accumulation of information on the effectiveness of production management. *Control systems and information technologies*, 2006, vol. 25, no. 3, pp. 57-61 (in Russian).
23. Shabanov A. P. Method of assessing the adequacy of the power of a homogeneous organizational structure. *Control systems and information technologies*, 2005, vol. 20, no. 3, pp. 103-106 (in Russian).
24. Shabanov A. P. Adaptive control axis: "information system-organizational structures of mass servicing". *Business Informatics*, 2010, vol. 13, no. 3, pp. 19-26 (in Russian).
25. Skvortsov E. N., Guskova N. D. Analysis of the institutional structures of control systems innovative industrial clusters in Russia. *Scientific and technical statements of SPbGPU. Economic Sciences*, 2016, vol. 235, no. 1, pp. 86-99 (in Russian).
26. Bilchinskaja S. G., Sulgin I. N., Chernjavskij U. A., Shabinskaja E. V. Analysis of two-component system model management of economic clusters in the region. *Vestnik of the Kamchatka State Technical University*, 2015, no. 34, pp. 102-107 (in Russian).
27. Kuzovleva I. N., Prokopenkova V. V. Control system of innovative potential of cluster housing. *Industrial and civil construction*, 2015, no. 11, pp. 81-84 (in Russian).
28. Shcerbinina E. A. System management model innovation cluster actors relationship. *Economics and entrepreneurship*, 2015, vol. 64-2, no. 11-2, pp. 798-801 (in Russian).
29. Kostenko O. V. Cluster as a control object and the socio-economic system. *Agricultural science Euro-North-East*, 2015, vol. 49, no. 6, pp. 75-80 (in Russian).
30. Shcerbinina E. A., Zinkina U. I. Model of industrial cluster innovation management system. *Economics and entrepreneurship*, 2015, no. 6-2 (59-2), pp. 470-473 (in Russian).
31. Zatsarinnyy A. A., Kozlov S. V., Shabanov A. P. Information support for the activities of the critical technologies in control systems based on situational

centers. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 4, pp. 98-113 (in Russian).

32. Zatsarinnyy A. A., Suchkov A. P., Shabanov A. P. Method of supporting operation of organizational system. *Patent for invention* RU 2532723 C2, pub. 10.11.2014, bul. no. 31 (in Russian).

33. Shabanov A. P. Innovation: sharing devices to integrated management systems. Part 2 - Management of organizational systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 3, pp. 179-226 (in Russian).

34. Zatsarinnyy A. A., Kozlov S. V., Suchkov A. P., Shabanov A. P. System of situationally-analytical centers of organizational system. *Patent for invention* RU 2533090 C2, pub. 20.11.2014, bul. no. 32 (in Russian).

35. Kozlov S. V., Kozlov V. S., Shabanov A. P. Method to pass information. *Patent for invention* RU 2560820 C2, pub. 20.08.2015, bul. no. 23 (in Russian).

36. Shabanov A. P. Innovation: sharing devices to integrated management systems. Part 3 – Integrated control systems to robotic objects. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 4, pp. 214-260 (in Russian).

37. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A. P. Data transmitter. *Patent for utility model* RU 165924 U1, pub. 10.11.2016, bul. no. 31 (in Russian).

38. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A.P. Data receiver. *Patent for utility model* RU 165993 U1, pub. 10.11.2016, bul. no. 31 (in Russian).

39. Masich G. F. Data transmission networks. Perm, NIPU, 2014. – 192 p. (in Russian).

40. Mizin I. A., Bogatirev V. A., Kuleshev A. P. Packet switching networks. Moscow, Radio and communication, 1986. – 408 p. (in Russian).

41. Rodin A. S., Shabanov A. P. Multi-channel digital communication system. Inventor's certificate SU 1800631 A1, pub. 07.03.93, bul. no. 9 (in Russian).

42. Shabanov A. P. Innovation: sharing devices to integrated management systems. Part 1 - information exchange. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 2, pp. 1-43 (in Russian).

43. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A. P. Complex of information interaction. *Patent for utility model* RU 160257 U1, pub. 10.03.2016, bul. no. 7 (in Russian).

44. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A.P. Organizational systems management system. *Patent for invention* RU 2595335 C2, pub. 27.08.2016, bul. no. 24 (in Russian).

45. Zatsarinnyy A. A., Kozlov S. V., Suchkov A. P., Shabanov A. P. Management Center of Organizational system. *Patent for utility model* RU 127493 U1, pub. 27.04.2013, bul. no. 12 (in Russian).

46. Goljandin A. N., Shabanov A. P. Monitoring Center for sustainability information systems. *Patent for utility model* no. RU 130109 U1, pub. 10.07.2013, bul. no. 19 (in Russian).

47. Goljandin A. N., Shabanov A. P. Stability of information systems support center. *Patent for utility model* no. RU 132227 U1, pub. 10.09.2013, bul. no. 25 (in Russian).

48. Kozlov S. V., Kozlov V. S., Shabanov A. P. Robotic control objects. *Patent for utility model* RU 140887 U1, pub. 20.05.2014, bul. no. 14 (in Russian).

Статья поступила 29 марта 2017 г.

Информация об авторе

Шабанов Александр Петрович – доктор технических наук. Ведущий научный сотрудник. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН. Область научных интересов: информационная поддержка деятельности организационных систем – ведомств, предприятий, учреждений. E-mail: apshabanov@mail.ru

Адрес: Россия, 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, кор. 2.

Innovation in the Consolidation of Organizational Systems: The Technological Compatibility of Control Systems

A. P. Shabanov

Introduction. In the difficult conditions of the modern stage of development of international relations, the country's leadership is taking steps to consolidate the efforts of State organizational systems - ministries, services and agencies, of the enterprises, scientific organizations and educational institutions. In economic activity there has been a significant increase in organizational systems that combine industry and/or territorial characteristics - industrial and agricultural enterprises, banks, organizations and institutions. It is expected that as a result of these conurbations increase the country's security and economic development will gain further momentum. **Problem.** A necessary condition for the functioning of the consolidation of the organizational systems is the information interaction between the systems for the management of their activities. At the same time, control objects - the hardware and software on the basis of which the constructed the control systems or managed by these systems and, at the same time, are identical operations performed, as a rule, different addressing and/or software commands. By virtue of the latter circumstance, there is the problem of technological compatibility of such control systems. **Decision.** This problem may be resolved in accordance with the results of studies conducted in the area of critical information technology in order to ensure technological compatibility of control systems of organizational systems. Innovative technical solutions, based on purpose to create a unified information control Wednesday of various systems are presents. **Practical significance:** the practical application of the presented research results here will provide a maximum degree of automation of the processes of information exchange in real-time between interacting control systems of organizational systems. **Scope are** the organizational system that shared tasks by consolidating their efforts within a specific time period or on a permanent basis, including combining situational centers for public bodies and regional clusters of small and medium-sized businesses, research organizations and educational institutions, transnational corporations.

Key words: organizational systems, control systems, critical technologies, information interaction, technological compatibility, solution scripts, data transfer.

Information about Author

Alexander Petrovich Shabanov – Dr. habil. of Engineering Sciences. Leading Researcher. Federal Research Center «Informatics and control» RAS. Field of research: information support for the activities of the organizational systems – departments, enterprises and institutions. E-mail: apshabanov@mail.ru

Address: Russia, 119333, Moscow, Vavilova str., h. 44, s. 2.

УДК 001.38

Математические методы оценки вклада ученого в науку

Левин В. И.

Актуальность. В последние годы все большее внимание властных структур и научной общественности приобретают количественные методы оценки эффективности научных исследований, в связи необходимостью адекватного финансирования науки. Для технологической поддержки данного направления работ важное значение имеют новые математические модели и методы введения и вычисления количественных показателей эффективности научных исследований. В связи с этим данная статья, посвященная разработке таких моделей и методов, является актуальной. **Цель статьи** заключается в разработке нескольких новых моделей, позволяющих ввести ряд новых показателей научных исследований, использующих данные о публикациях ученого и его цитированиях. **Метод.** Для достижения поставленной цели предложено использовать в качестве исходных данных распределение цитирований в форме графика, по оси абсцисс которого расположены публикации ученого в порядке возрастания цитирования, а по оси ординат – соответствующие количества цитирований. Графики распределения цитирований удобны для введения новых показателей эффективности исследований ученых и их анализа. **Новизна** работы заключается в предложенных двух универсальных методах количественной оценки эффективности научных исследований ученого на базе его графика распределения цитирований: измерительный метод, сводящий указанную оценку к сравнению распределения цитирований оцениваемого ученого с распределением цитирований гипотетического единичного ученого, и метод моментов, сводящий указанную оценку к вычислению момента подходящего порядка распределения цитирований ученого. **Результат.** В статье детально разработана математическая модель и методы, необходимые для введения новых показателей эффективности научных исследований, их анализа и вычислений.

Ключевые слова: моделирование науки, библиометрика, публикация, индекс цитирования, эффективность научных исследований.

Введение

Научная деятельность имеет все возрастающее значение для человечества, давая ему фактически единственный шанс на решение стоящих перед ним трудных проблем: рост народонаселения, защита окружающей среды, победа над терроризмом и т.д. Однако поддержка науки требует огромных средств. Поэтому государства заинтересованы в том, чтобы внедрить сугубо количественные методы оценки качества научных исследований, которые соответствовали бы существующей в настоящее время, сугубо количественной системе финансовой поддержки науки. Первой за эту работу взялась Англия, занимающая в настоящее время второе место в мире, после США, по уровню развития научных исследований. Позиция английского правительства по этому вопросу была предельно ясно изложена в его докладе 2007 года [1]: «Правительство намерено заменить нынешний метод определения качества

Библиографическая ссылка на статью:

Левин В. И. Математические методы оценки вклада ученого в науку // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 160–174. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/10-Levin.pdf>

Reference for citation:

Levin V. I. Mathematical Theory of Estimation of Contribution of Scientist to Science. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 160–174. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/10-Levin.pdf> (in Russian).

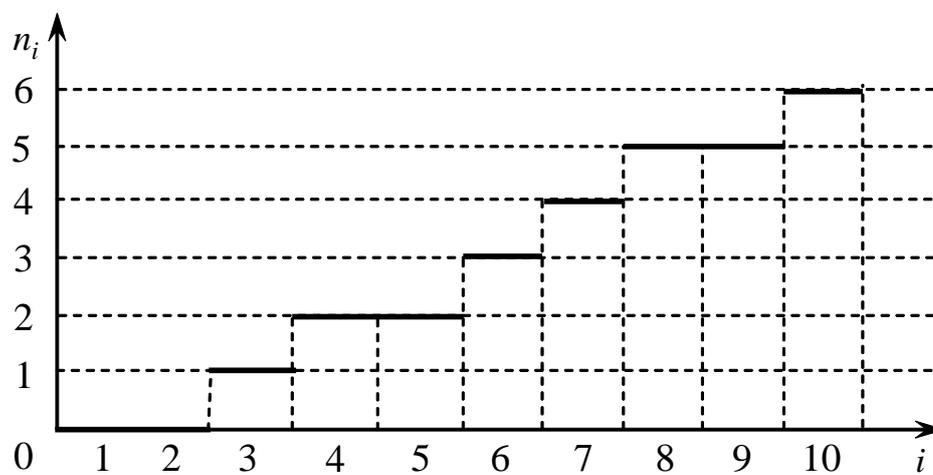
научных исследований. В центре внимания новой системы будут подсчеты, а не экспертные оценки. Ожидается, что основным индекс оценки качества в этой системе будет библиометрическим, использующим подсчет журнальных статей и их цитирований». Соответствующий подход к оценке качества научных исследований стал внедряться сначала в Англии, а затем и в остальных странах мира. Однако вскоре научная общественность забила тревогу. В 2008 году Международный математический союз опубликовал отчет о возможностях библиометрических показателей для объективной оценки качества научных исследований [2]. Авторы этого отчета пришли к выводу, что использование взамен экспертных оценок библиометрических показателей, основанных на публикациях и их цитированиях, не исключает субъективизм в оценке качества научных исследований, а всего лишь заменяет один вид субъективных оценок (экспертные оценки) другим их видом (субъективная интерпретация смысла количественных оценок публикаций и их цитирований). К этому надо добавить возможность фальсификаций количественных данных о показателях. Подробное изложение отчета [2] и его выводов приведены в работе [3]. После опубликования отчета [2] научно развитые страны стали пересматривать свое отношение к библиометрическому измерению науки. Особенно далеко пошла Англия, где в 2013 г. использование библиометрики как основного метода оценки научной деятельности было запрещено и заменено экспертной оценкой [4]. Библиометрические показатели разрешили применять лишь как вспомогательные и лишь в 11 из 36 научных дисциплин (подробнее см. в [3]). Исследование основных библиометрических показателей – публикации, цитируемость, индекс Хирша – было проведено недавно в России [5–11]. Общий вывод из проведенных исследований состоит в том, что все эти показатели не позволяют объективно оценивать вклад ученого в науку, сравнить эффективность исследований различных ученых и т.д. Особенно резкой критике подвергся показатель «индекс Хирша», который, по мнению части исследователей, в ряде случаев приводит к результатам, противоречащим здравому смыслу. Кроме того, он оказался абсолютно незащищенным от искусственного «накручивания». Наиболее полное исследование библиометрических показателей, охватывающее практически все известные на сегодня показатели научной деятельности, проведено в работе [3]. Это исследование показало, что ни один из почти 30 существующих в настоящее время библиометрических показателей не может использоваться в качестве основного показателя, позволяющего объективно оценивать вклад ученого в науку, сравнивать достижения различных ученых, выделять выдающихся ученых и т.д. Однако эти показатели могут использоваться в качестве вспомогательных, в дополнение к экспертным оценкам, которые традиционно являются главным показателем, оценивающим вклад ученого в науку. К сожалению, широкое использование библиометрических показателей тормозится почти полным отсутствием их теории, позволяющей систематически вводить указанные показатели, изучать их свойства и устанавливать области применения каждого из показателей. Настоящая работа содержит попытку наметить некоторые основы такой теории.

1. Исходные данные для оценки библиометрических показателей

Исходными данными для библиометрических показателей эффективности научных исследований ученого являются его публикации и ссылки на них. При этом представляют интерес не сами публикации и ссылки, а только число публикаций и число ссылок на каждую из них. Все ссылки считаются равноправными, независимо от их содержания и публикации, на которую они сделаны. Все публикации также считаются исходно равноправными, независимо от их содержания. Неравноправными они считаются лишь в смысле числа ссылок на них, которое может быть неодинаковым. Совокупность всех публикаций ученого и числа всех ссылок на каждую из этих публикаций назовем распределением ссылок данного ученого. Распределение ссылок будем представлять в форме таблицы (табл. 1) или графика (рис. 1), где публикации следуют в порядке возрастания числа ссылок на них, а напротив каждой публикации проставляется число ссылок на нее. Распределение ссылок ученого содержит полную информацию для получения библиометрических показателей эффективности его научных исследований.

Таблица 1 – Пример распределения количества ссылок

№ публикации	1	2	3	4	...	p
Число ссылок	n_1	n_2	n_3	n_4	...	n_p



i – номер публикации
 n_i – число ссылок

Рис. 1. Пример распределения количества ссылок

Такой упрощенный подход к библиометрике, основанный на жестких ограничениях и допущениях, позволяет легко вычислять библиометрические показатели эффективности научных исследований. Однако точность этих вычислений невелика, т.к. при оценке публикационной активности и цитируемости ученого не учитываются вес публикаций и ссылок на них, зависящий от веса журнала. Не учитывается и специфика публикации, и

цитирований, зависящая от отрасли науки. Принципиально можно учесть указанные факторы, разделяя публикации и ссылки на них по уровню журнала и отрасли науки. Однако при этом возникают большие трудности, связанные с объективным определением уровней журналов и установлением разумной глубины деления науки по отраслям. Поэтому библиометрический подход целесообразно использовать лишь для предварительной приближенной оценки эффективности научных исследований ученого, оставляя ее окончательную оценку (с учетом уровня журналов и специфики публикаций и цитирований, зависимой от отрасли науки) экспертам.

В основе определения и вычисления библиометрических показателей эффективности научных исследований лежит сравнение распределений ссылок каждого из ученых, которое и позволяет сравнить эффективность этих ученых и выделить более эффективного из них. Сравнение распределений ссылок осуществляется путем сравнения числа ссылок для каждой пары публикаций двух ученых с одинаковым порядковым номером и последующего объединения полученных результатов сравнений. Для того, чтобы такое сравнение было возможно, нужно, чтобы сравниваемые распределения ссылок имели равное количество публикаций. Такие распределения будем называть нормальными. Любую пару распределений ссылок, не являющихся нормальными, можно нормализовать. Для этого достаточно к распределению с меньшим количеством публикаций добавить такое количество «пустых» публикаций (т.е. публикаций, не имеющих ссылок), чтобы оба распределения ссылок оказались с равным числом публикаций. Очевидно, что нормализация распределений ссылок не изменяет оценку эффективности научных исследований ученого и потому допустима как средство, облегчающее получение такой оценки. Также очевидно, что добавляемые при нормализации распределения ссылок пустые публикации должны располагаться в самом начале распределения, т.е. в крайней левой его части. Так, например, расположены публикации 1, 2 в распределении ссылок на рис. 1.

2. Измерительный метод оценки библиометрических показателей

Предлагаемый измерительный метод оценки библиометрических показателей эффективности научных исследований базируется на общей теории измерений. Конкретно, он заключается в сравнении распределений ссылок двух ученых, которое позволяет сравнить эффективность исследований этих ученых и выделить более эффективного из них. Как уже говорилось выше, сравнение распределений ссылок осуществляется путем сравнения числа ссылок для каждой пары публикаций рассматриваемых двух ученых с одинаковым порядковым номером и последующего объединения полученных результатов сравнений. При этом ненормализованные пары распределений ссылок предварительно нормализуются, после чего число публикаций у них становится одинаковым.

Изложение предлагаемого метода начнем с простейшего случая, когда кривые сравниваемых распределений ссылок двух ученых не пересекаются (рис. 2). Будем далее исходить из следующих положений, представляющихся очевидными:

- 1) эффективность научных исследований ученого некоторым образом связана с числом его публикаций (точнее, публикаций, на которые имеются ссылки) и числом ссылок на эти публикации;
- 2) эффективность научных исследований тем выше, чем больше число публикаций ученого и число ссылок на эти публикации.

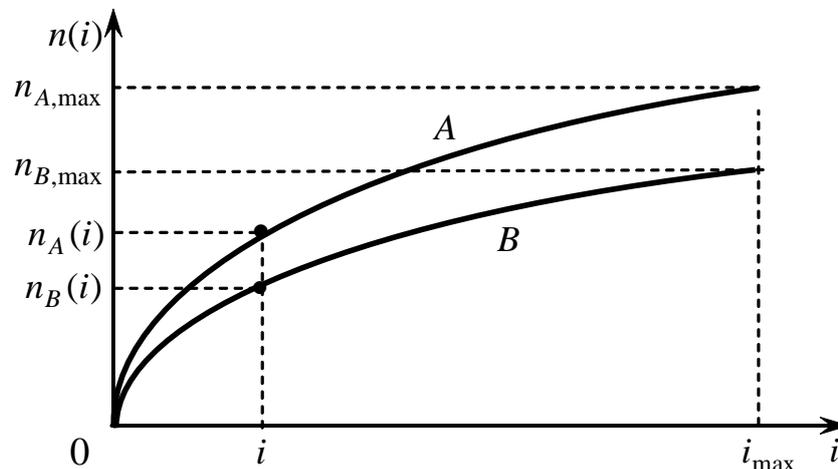


Рис. 2. Сравнение распределений ссылок двух ученых

Возьмем на рис. 2 произвольную точку i на оси абсцисс. Ей соответствует точка на кривой распределения ссылок A с ординатой $n_A(i)$ и точка на кривой распределения ссылок B с ординатой $n_B(i)$, причем $n_A(i) > n_B(i)$. Это означает, что для каждой пары публикаций ученых A и B с одинаковым порядковым номером $i, i = \overline{1, i_{\max}}$, количество ссылок на публикацию ученого A превышает количество ссылок на публикацию ученого B . Объединяя полученные результаты для всех $i, i = \overline{1, i_{\max}}$, приходим к выводу, что в рассмотренном случае общее число ссылок на все публикации у ученого A больше, чем у ученого B . Таким образом, эффективность исследований $E(A)$ ученого A , кривая распределения ссылок которого располагается на графике выше, заведомо больше, чем эффективность исследований $E(B)$ ученого B . Выведенное положение запишем в виде правила

$$E(A) > E(B), \text{ если } N(A) > N(B). \quad (1)$$

Здесь $N(A)$ – общее число ссылок на все публикации ученого A , а $N(B)$ – то же для ученого B .

Перейдем к более сложному случаю, когда кривые сравниваемых распределений пересекаются, так что на одних участках выше расположена одна кривая распределения ссылок, а на других – другая (рис. 3). В этом случае, согласно сказанному выше, на одних участках кривой большей является эффективность исследований ученого A , на других – эффективность исследований ученого B .

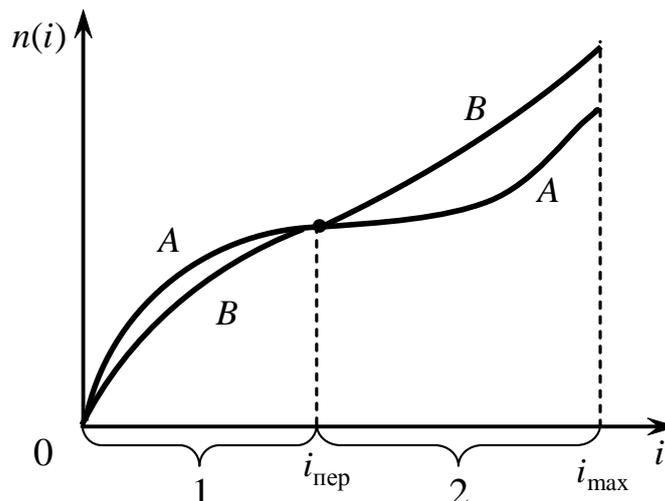


Рис. 3. Сравнение распределений ссылок двух ученых

В нашем конкретном случае (рис. 3), на участке 1 большая эффективность исследований у ученого А, а на участке 2 – у ученого В. Чтобы определить соотношение общей эффективности исследований двух ученых на всем интервале существования их распределений ссылок, нужно совместить их частные эффективности, соответствующие однородным участкам их кривых распределений ссылок. Последнее выполняется подсчетом суммарного числа публикаций $N(A)$ ученого А на всех участках, где эффективность исследований $E(A)$ ученого А больше эффективности $E(B)$ ученого В, и суммарного числа публикаций $N(B)$ ученого В на всех участках, где эффективность исследований $E(B)$ ученого В больше эффективности исследований $E(A)$ ученого А. После этого выполняется сравнение чисел $N(A)$ и $N(B)$ и затем принимается решение о соотношении общих эффективностей исследований $E(A)$, $E(B)$ двух ученых А и В по правилу

$$\begin{aligned} E(A) > E(B), & \text{ если } N(A) > N(B); \\ E(B) > E(A), & \text{ если } N(B) > N(A); \\ E(A) = E(B), & \text{ если } N(A) = N(B). \end{aligned} \quad (2)$$

Правило сравнения (2) исходит из того, что числа $N(A)$, $N(B)$ можно рассматривать как количества случаев, в которых выше эффективность исследований соответственно ученого А и ученого В.

Сравнение по формуле (2) является чисто качественным; оно показывает лишь, чья эффективность исследований больше – ученого А или ученого В, но не устанавливает насколько (во сколько раз) больше. Однако по тем же самым данным, по которым выполняется качественное сравнение по формуле (2), можно выполнить и количественное сравнение, показывающее количественное отношение эффективности исследований ученых А, В. Действительно, в соответствии со смыслом чисел $N(A)$ и $N(B)$ как количеств случаев, в которых выше эффективность исследований ученого А и В, количественное соотношение $K(A/B)$ эффективности исследований $E(A)$ и $E(B)$ ученых А и В можно

измерять простым отношением чисел $N(A)$, $N(B)$. Таким образом, искомое соотношение эффективностей, определяемое как

$$K(A/B) = E(A)/E(B), \quad (3)$$

можно вычислить по формуле

$$K(A/B) = N(A)/N(B). \quad (4)$$

Рассмотренное качественное и количественное сравнение эффективности исследований двух ученых по формулам (2) и (4) базировалось на числе публикаций данных ученых. Изложим теперь метод сравнения эффективности исследований ученых, базирующийся на числе ссылок на их публикации.

Начнем с простейшего случая, когда кривые сравниваемых распределений ссылок двух ученых не пересекаются (рис. 2). Обозначим $M(A)$ общее число ссылок на публикации ученого A , а $M(B)$ – общее число ссылок на публикации ученого B . При этом в $M(A)$ и $M(B)$ не будем включать ссылки на публикации с номерами i , в которых число ссылок у A и B одинаково, так как они не влияют на результат сравнения. Такие публикации возможны на начальном (при малых i) участке сравниваемых распределений ссылок. В рассматриваемом случае, как хорошо видно из рис. 2, общее число ссылок $M(A)$ на публикации ученого A больше общего числа $M(B)$ на публикации ученого B , в соответствии с чем эффективность исследований $E(A)$ ученого A должна быть признана выше эффективности исследований $E(B)$ ученого B . Это положение можно записать в виде следствия

$$E(A) > E(B), \text{ если } M(A) > M(B). \quad (5)$$

Как и в (2), сравнение по формуле (5) – качественное, оно показывает только, при каком условии эффективность исследований ученого A больше эффективности исследований ученого B , но не показывает, на сколько (во сколько раз) больше. Но по тем же самым данным можно выполнить и количественное сравнение, определив количественное соотношение $K(A/B)$ эффективности исследований ученых A и B (3). Для этого достаточно использовать очевидную формулу

$$K(A/B) = M(A)/M(B). \quad (6)$$

Рассмотрим теперь более сложный случай, когда кривые сравниваемых распределений ссылок на публикации двух ученых пересекаются (рис. 3). В данном случае на одних участках выше расположена одна кривая распределения ссылок, а на других – другая. Т.е. на одних участках больше ссылок на публикации ученого A и потому его исследования должны быть признаны более эффективными, а на других участках – больше ссылок на публикации ученого B и потому здесь исследования этого ученого должны быть признаны более эффективными. В нашем конкретном случае (рис. 3) на участке 1 имеем большую эффективность исследований ученого A , а на участке 2 – ученого B . Для того, чтобы определить соотношение общей эффективности исследований двух ученых на всем интервале их распределений ссылок, нужно соединить их частные эффективности исследований, соответствующие однородным участкам их кривых распределений ссылок. Это выполняется подсчетом суммарного числа

ссылок $M'(A)$ ученого A на всех участках, где эффективность исследований $E(A)$ ученого A больше эффективности исследований $E(B)$ ученого B , и суммарного числа ссылок $M'(B)$ ученого B на всех участках, где эффективность исследований $E(B)$ ученого B больше эффективности исследований $E(A)$ ученого A . При этом, как и выше, в $M'(A)$ и $M'(B)$ не включаются ссылки на все публикации с номерами i , в которых число ссылок у A и B одинаково, т.к. они не влияют на результат сравнения. Далее, числа $M'(A), M'(B)$ сравниваются и принимается решение о соотношении общих эффективностей $E(A)$ и $E(B)$ двух ученых в соответствии с правилом

$$\begin{aligned} E(A) > E(B), & \text{ если } M'(A) > M'(B); \\ E(B) > E(A), & \text{ если } M'(B) > M'(A); \\ E(A) = E(B), & \text{ если } M'(A) = M'(B). \end{aligned} \quad (7)$$

Сравнение эффективностей исследований по формуле (7), как и аналогичные сравнения по формулам (2) и (5), является качественным. Оно лишь устанавливает достаточные условия, при выполнении которых эффективность исследований одного ученого больше или равна эффективности другого ученого, но не показывает, на сколько (во сколько раз) больше. Однако, как и выше, по имеющимся данным можно выполнить и количественное сравнение, получив соотношение $K(A/B)$ эффективности исследований ученых A и B . Для этого используется очевидная формула, подобная формулам (4), (6)

$$K(A/B) = M'(A)/M'(B). \quad (8)$$

Ранее мы занимались лишь сравнительным изучением эффективности научных исследований, оценивая соотношение эффективности исследований различных ученых. Перейдем теперь к абсолютной оценке эффективности научных исследований, т.е. к оценке эффективности исследований одного отдельно взятого ученого. Будем исходить из общей теории измерений. Согласно этой теории, абсолютное значение любой измеримой величины есть отношение этой величины к некоторой другой измеримой величине, принимаемой за единицу – эталон. В рассматриваемом случае в качестве единицы – эталона измерений естественно принять ученого с минимальной положительной эффективностью исследований. Это – ученый, на каждую публикацию которого имеется ровно одна ссылка, так что его можно обозначить I ; соответствующее распределение ссылок имеет вид таблицы 2.

Таблица 2 – Пример распределения количества ссылок

№ публикации	1	2	3	...	p
Число ссылок	1	1	1	...	1

Эффективность исследований такого ученого, которую мы приняли за единицу измерений, обозначим $E(I)$. Теперь понятно, что для того, чтобы получить абсолютную оценку эффективности исследований любого ученого A , нужно просто вычислить количественное соотношение $K(A/I)$ эффективности

исследований ученого A и единичного ученого I . Согласно формуле (3) общее определение абсолютной эффективности исследований ученого A имеет вид

$$K(A/I) = E(A)/E(I). \quad (9)$$

Таким образом, для получения абсолютной оценки эффективности исследований любого ученого A остается всего лишь использовать подходящую формулу вычисления количественного соотношения эффективности исследований данного ученого $E(A)$ и единичного ученого $E(I)$. Различные ее варианты можно получить из рабочих формул (4), (6), (8) вычисления количественного соотношения эффективности исследований двух ученых A, B , соответствующих различным критериям сравнения ученых. В результате получаем, во-первых, формулу

$$K(A/I) = N(A)/N(I) \quad (10)$$

для вычисления абсолютной оценки эффективности исследований ученого A в случае, когда ученые сравниваются по числу публикаций на участках распределений ссылок с различным соотношением числа ссылок между этими учеными. В этой формуле $N(A)$ – суммарное число публикаций ученого A на всех участках распределения ссылок, где эффективность исследований $E(A)$ ученого A больше эффективности исследований $E(I)$ единичного ученого I (другими словами, она больше единицы), а $N(I)$ – суммарное число публикаций ученого A на всех участках распределения ссылок, где эффективность исследований $E(A)$ ученого A меньше эффективности исследований $E(I)$ ученого I (т.е. меньше единицы, другими словами, равна нулю). Во-вторых, получаем формулу

$$K(A/I) = M(A)/M(I), \quad (11)$$

для нахождения абсолютной оценки эффективности исследований ученого A , когда ученые сравниваются по числу ссылок на их публикации. Здесь $M(A)$ – общее число ссылок на публикации ученого A , а $M(I)$ – общее число ссылок на публикации ученого I (в $M(A)$ и $M(I)$ не включаются ссылки на публикации с номерами, где число ссылок у A и I одинаково). И, наконец, получаем формулу

$$K(A/I) = M'(A)/M'(I) \quad (12)$$

для вычисления абсолютной оценки эффективности исследований ученого A в случае, когда ученые сравниваются по количеству эффективных ссылок на их публикации, т.е. ссылок на публикации, находящиеся в областях распределения ссылок с большей эффективностью исследований оцениваемого ученого. Здесь $M'(A)$ – суммарное число ссылок ученого A на всех участках распределения ссылок, где эффективность исследований $E(A)$ ученого A больше эффективности исследований $E(I)$ ученого I (т.е. >1), а $M'(I)$ – суммарное число ссылок ученого I на всех участках распределения ссылок, где эффективность исследований $E(A)$ ученого A меньше эффективности исследований $E(I)$ ученого I (т.е. меньше единицы, другими словами, равна нулю).

Поделив абсолютную оценку эффективности исследований $K(A/I)$ некоторого ученого A на абсолютную оценку эффективности исследований $K(B/I)$ ученого B , получим новую оценку соотношения эффективностей этих ученых

$$K(A/B) = K(A/I) / K(B/I), \quad (13)$$

отличающуюся от оценок этого соотношения (4), (6), (8) тем, что она является косвенной, использующей предварительно вычисленные абсолютные оценки эффективности исследований обоих ученых.

Итак, измерительный метод оценки библиометрических показателей эффективности научных исследований ученого позволяет, во-первых, сравнить эффективность двух ученых, установив, у кого из ученых эта эффективность выше и на сколько (во сколько раз). Во-вторых, этот метод позволяет найти абсолютную эффективность научных исследований ученого, путем сравнения эффективности его исследований с эффективностью исследований гипотетического единичного ученого, у которого число ссылок на все публикации равно 1.

3. Метод моментов оценки библиометрических показателей

Рассмотрим теперь принципиально другой метод оценки библиометрических показателей эффективности научных исследований. Этот метод основан на использовании в качестве показателей эффективности исследований различных моментов распределений ссылок на публикации ученых. Вычисляя такие показатели, мы получаем сразу абсолютные оценки эффективности научных исследований, минуя этап сравнения эффективности исследований с единицей – эталоном. Если же нам нужно установить соотношение эффективностей научных исследований двух ученых A и B , то следует, согласно формуле (3), разделить вычисленный момент-показатель эффективности исследований одного ученого на такой же момент-показатель эффективности исследований другого ученого. Введем формально названные показатели эффективности научных исследований.

Пусть имеется произвольное распределение ссылок на публикации некоторого ученого в виде таблицы 1. Назовем моментом порядка k этого распределения величину, определяемую следующим выражением

$$L_k = (n_1^k + n_2^k + n_3^k + \dots + n_p^k) / p = \left(\sum_{i=1}^p n_i^k \right) / p, \quad k > 0. \quad (14)$$

Легко видеть, что момент 1-го порядка $L_1 = \left(\sum_{i=1}^p n_i \right) / p$ есть среднее арифметическое число ссылок на одну публикацию, момент 2-го порядка $L_2 = \left(\sum_{i=1}^p n_i^2 \right) / p$ есть среднее арифметическое квадратов чисел ссылок на одну публикацию и т.д. Поэтому, если мы найдем корень k -й степени (или $\left(\frac{1}{k}\right)$ -ю степень) из момента L_k , то получим некоторый абсолютный показатель

эффективности научных исследований ученого, базирующийся на учете числа ссылок на его публикации. Таким образом, получается система абсолютных показателей эффективности научных исследований различных порядков k :

$$P_k = \sqrt[k]{L_k} = \sqrt[k]{\left(\sum_{i=1}^p n_i^k\right) / p}, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (15)$$

Эти показатели отличаются от показателей, введенных в п. 3, тем, что позволяют учитывать различное влияние малого, среднего и большого числа ссылок на оценку эффективности исследований. Для адекватного учета этого влияния требуется лишь подобрать подходящее значение порядка k используемого показателя эффективности исследований – малое, среднее или большое. Кроме того, отличие в том, что эти показатели являются абсолютными, т.е. дают сразу абсолютные оценки эффективности исследований, не требуя сравнения их с эталоном.

Таким образом, метод моментов оценки библиометрических показателей эффективности научных исследований ученого позволяет, во-первых, вычислить абсолютный показатель эффективности научных исследований ученого, используя формулу (15) с подходящим порядком k . Во-вторых, этот метод позволяет сравнить эффективность исследований двух ученых, используя их вычисленные абсолютные эффективности.

4. Некоторые примеры

Изложенную выше теорию библиометрического оценивания качества исследований проиллюстрируем примерами.

Пример 1. Распределения ссылок на публикации ученых A и B даны в таблице 3. Вычислить, основываясь на измерительном подходе (п. 3), показатели эффективности научных исследований ученых и сравнить эти показатели.

Таблица 3 – Пример распределения количества ссылок

№ публикации	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число ссылок A	2	5	7	8	9	11	14	18	23	30
Число ссылок B	1	3	5	8	11	15	20	26	33	42

Как видно из табл. 3, кривые распределений ссылок ученых A , B пересекаются: на участке 1 (публикации 1–3) суммарное число ссылок ученого A (эффективность ученого A) больше суммарного числа ссылок ученого B (эффективности ученого B), а на участке 2 (публикации 5–10) число ссылок ученого B больше, чем число ссылок ученого A . Таким образом, число публикаций ученого A на том участке, где эффективность ученого A больше, чем эффективности ученого B , равно $N(A) = 3$, а число публикаций ученого B на участке, где его эффективность больше эффективности ученого A , равно $N(B) = 6$. Отсюда соотношение эффективностей научных исследований ученых A и B , измеряемое соотношением чисел $N(A)$ и $N(B)$, по формуле (4) равно

$$K(A/B) = N(A)/N(B) = 3/6 = 0,5; \quad K(B/A) = N(B)/N(A) = 6/3 = 2.$$

Из данных таблицы 3 мы также получаем, что суммарное число ссылок ученого A на участке 1, где его эффективность выше эффективности ученого B , равно $M'(A)=14$, а суммарное число ссылок ученого B на участке 2, где его эффективность выше эффективности ученого A , равно $M'(B)=147$. Отсюда соотношение эффективностей научных исследований ученых A и B , которое измеряется соотношением чисел $M'(A)$ и $M'(B)$, по формуле (8) равно

$$K(A/B) = M'(A)/M'(B) = 14/147 = 0,095;$$

$$K(B/A) = M'(B)/M'(A) = 147/14 = 10,5.$$

Далее, из таблицы 3 видно, что суммарное число ссылок ученого A на участках, где его эффективность выше эффективности единичного ученого I с распределением ссылок согласно табл. 2, равно $M'(A)=127$, суммарное число ссылок ученого B на таких же участках равно $M'(B)=163$, а суммарное число ссылок ученого I равно $M'(I)=10$. Отсюда абсолютные оценки эффективности научных исследований ученых A и B по формуле (12)

$$P_A \equiv K(A/I) = 127/10 = 12,7; \quad P_B \equiv K(B/I) = 163/10 = 16,3,$$

а соотношение абсолютных эффективностей научных исследований, проводимых этими учеными, по формуле (13)

$$K(A/B) = K(A/I)/K(B/I) = 12,7/16,3 = 0,779;$$

$$K(B/A) = K(B/I)/K(A/I) = 16,3/12,7 = 1,28.$$

Заметим, что измерение эффективности исследований ученых A и B по традиционному показателю «суммарное число ссылок» дает

$$M(A) = 127, \quad M(B) = 164, \quad K(A/B) = 127/164 = 0,775, \quad K(B/A) = 164/127 = 1,29.$$

Пример 2. Для ученых A и B , распределения ссылок которых даны в таблице 3, вычислить методом моментов абсолютные показатели эффективности научных исследований ученых и сравнить указанные показатели. Используем формулу (14) и вычислим два первых показателя эффективности P_1 и P_2 . В данном случае входящие в формулу (14) величины n_i для ученого A даются 2-й строкой таблицы 3, а для ученого B – 3-й строкой таблицы 3, для обоих ученых величина p равна 10. Подставляя эти величины в формулу (14), получаем значения абсолютных показателей эффективности

$$\text{ученый } A: \quad P_{1A} = 127/10 = 12,7, \quad P_{2A} = \sqrt{2293} = 47,78;$$

$$\text{ученый } B: \quad P_{1B} = 164/10 = 16,4, \quad P_{2B} = \sqrt{4374} = 66,14.$$

Отсюда соотношение абсолютных эффективностей исследований ученых A и B по показателям P_1 и P_2 составляет

$$K_{P_1}(A/B) = P_{1A}/P_{1B} = 12,7/16,4 = 0,774,$$

$$K_{P_2}(A/B) = P_{2A}/P_{2B} = 47,78/66,14 = 0,722;$$

$$K_{P_1}(B/A) = P_{1B}/P_{1A} = 16,4/12,7 = 1,29,$$

$$K_{P_2}(B/A) = P_{2B}/P_{2A} = 66,14/47,78 = 1,38.$$

Приведенные примеры позволяют понять, что показатели эффективности научных исследований ученых в зависимости от принятой величины для измерения эффективности и подхода к определению показателя этой эффективности могут сильно различаться по своему числовому значению. Так,

в этих примерах показатель $K(A/B)$ в зависимости от выше перечисленных факторов принимал следующие значения: 0,095; 0,5; 0,722; 0,774; 0,775; 0,779, показатель $K(B/A)$ принимал значения 1,28; 1,29; 1,38; 2,0; 10,5, показатель P_A – значения 12,7 и 47,78, а показатель P_B – значения 16,3; 16,4 и 66,14.

Заключение

Вводя в середине 2000-х годов библиометрические оценки эффективности научных исследований, правительства различных стран рассчитывали избавиться от субъективности экспертных оценок. Однако вскоре статистики доказали, что использование библиометрических оценок не исключает субъективизм в оценке научных исследований, а всего лишь заменяет один вид субъективности (экспертные оценки) другим (субъективная интерпретация смысла публикаций и ссылок на них). После этого различные библиометрические показатели подверглись индивидуальному изучению. В итоге выяснилось, что ни один из названных показателей на деле не позволяет объективно выполнить необходимые функции: оценка вклада ученого в науку, выделение выдающихся ученых, сравнение достижений различных ученых и т.д. В настоящей работе автора показано, что любые, даже математически строго построенные библиометрические показатели, нельзя использовать в качестве основных показателей эффективности научных исследований уже хотя бы потому, что численные значения этих показателей сильно меняются при смене величины, измеряющей эффективность исследований, а также подхода к определению показателя эффективности. Сказанное не означает бесполезности библиометрических показателей. Эти показатели могут быть полезны в качестве вспомогательных для обнаружения выдающихся работ или ученых, предполагаемый высокий уровень которых далее может быть подтвержден с помощью экспертных оценок, являющихся основным методом надежного выделения таких работ (ученых).

Литература

1. The Use of Bibliometrics to Measure Research Quality in UK Higher Education Institutions. Research Report. – London: Universities UK, 2007. – 44 p. – URL: <https://eric.ed.gov/?id=ED536622> (дата обращения 01.03.2017).
2. Adler R., Ewing J., Taylor P. Citation Statistics. Report of IMU, ICIAM and IMS. Corrected version. 2008. 26 p. – URL: <http://www.mathunion.org/fileadmin/IMU/Report/CitationStatistics.pdf> (дата обращения 09.04.2017).
3. Левин В. И. Количественные показатели научной деятельности: нужны ли они науке и обществу // *Alma mater*. 2017. № 3.
4. Research Excellence Framework. 2012. – URL: www.ref.ac.uk (дата обращения 01.03.2017).
5. Полянин А. Д. Недостатки индексов цитируемости и Хирша и использование других наукометрических показателей // Математическое моделирование и численные методы. – 2014. – № 1. – С. 131–144.

6. Болотов В. А., Квелидзе-Кузнецова Н. Н., Лаптева В. В., Морозова С. А. Индекс Хирша в российском индексе научного цитирования // Вопросы образования. 2014. № 1. С. 165–167.
7. Шиповалова Л. В. Индекс цитирования и объективность экспертов // Высшее образование в России. 2014. № 2. С. 119–125.
8. Левин В. И. Индекс Хирша и оценка вклада ученого в науку // *Alma mater*. 2016. № 4. С. 9–13.
9. Имаев В. И. Технологии увеличения индекса Хирша и развитие имитационной науки // В защиту науки. 2016. № 17.
10. Самойлов Н. А. О критериях оценки публикационной эффективности // *Alma mater*. 2016. № 11. С. 93–96.
11. Эрштейн Л. Б. Индекс цитирования как способ разрушения науки в России и мире // *Alma mater*. 2016. № 11. С. 97–101.

References

1. *The Use of Bibliometrics to Measure Research Quality in UK Higher Education Institutions. Research Report*. London, Universities UK, 2007. 44 p.
2. Adler R., Ewing J., Taylor P. *Citation Statistics*. Report of IMU, ICIAM and IMS. Corrected version. 2008. 26 p. Available at: <http://www.mathunion.org/fileadmin/IMU/Report/CitationStatistics.pdf> (accessed: 09 April 2017).
3. Levin V. I. Kolichestvennyye pokazateli nauchnoy deyatel'nosti: nuzhny li oni nauke i obshchestvu [Quantitative Indicators of Scientific Activity: Whether They Need for Science and Society]. *Alma mater*, 2017, № 3 (in Russian).
4. Research Excellence Framework. 2012. Available at: www.ref.ac.uk (accessed: 09 April 2017).
5. Polyaniin A. D. Nedostatki indeksov citiruемости i Hirsha i ispolzovanie drugih naukometricheskikh pokazateley [Disadvantages of Hirsch and Citation Indexes and Using Other Scientometric Indicators]. *Matematicheskoe modelirovanie i chislennyye metody*, 2014, no. 1, pp. 131–144 (in Russian).
6. Bolotov V. A., Kvelidze-Kuznecova N. N., Lapteva V. V., Morozova S. A. Indeks Hirsha v rossiyskom indekse nauchnogo citirovaniya [Hirsch Index in Russian Index of Scientific Citation]. *Voprosy Obrazovaniya*, 2014, no. 1, pp. 165–167 (in Russian).
7. Shipovalova L. V. Indeks citirovaniya i objektivnost ekspertov [Citation Index and Objectivity of Experts]. *Vysshee obrazovanie v Rossii*, 2014, no. 2, pp. 119–125 (in Russian).
8. Levin V. I. Indeks Hirsha i ocenka vklada uchenogo v nauku [Hirsch Index and Estimation of Contribution of Scientist into Science]. *Alma mater*, 2016, no. 4, pp. 9–13 (in Russian).
9. Imaev V. I., *Tehnologii uvelicheniya indeksa Khirsha i razvitie imitacionnoy nauki* [Technologies of Hirsch Index Increasing and Development of Science Imitation]. *V zaschitu nauki*, 2016, no. 17 (in Russian).
10. Samoylov N. A. O kriteriyah ocenki publikacionnoy effektivnosti [About Criteria of Estimation of Publication Efficiency]. *Alma mater*, 2016, no. 11, pp. 93–96 (in Russian).

11. Ehrshteyn L. B. Indeks citirovaniya kak sposob razrusheniya nauki v Rossii i mire [Citation Index as Method of Destroying of Science in Russia and World]. *Alma mater*, 2016, no. 11, pp. 97–101 (in Russian).

Статья поступила: 23 марта 2017 г.

Информация об авторе

Левин Виталий Ильич – доктор технических наук, профессор, PhD, Full Professor. Заслуженный деятель науки РФ. Пензенский государственный технологический университет. Область научных интересов: логика; математическое моделирование в технике, экономике, социологии, истории; принятие решений; оптимизация; теория автоматов; теория надежности; распознавание; история науки; проблемы образования. E-mail: vilevin@mail.ru
Адрес: 440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11.

Mathematical Theory of Estimation of Contribution of Scientist to Science

V. I. Levin

Relevance. *In recent years, increasing attention of power structures and the scientific community has acquired quantitative methods for assessing the effectiveness of scientific research, in connection with the need for adequate funding of science. For the technological support of this area of work, new mathematical models and methods of introducing and calculating quantitative indicators of the effectiveness of scientific research are important. In this regard, this article on the development of such models and methods is relevant. The purpose of the article is to develop several new models that allow us to introduce a number of new indicators of scientific research using information about the scientist's publications and his quotations. Method.* To achieve this goal it was proposed to use the distribution of citations in the form of a graph as the initial data, along the abscissa of which the publications of the scientist are arranged in order of increasing of citations and along the ordinate axis the corresponding quantities of citations are pointed. The graphs of the distribution of citations are convenient for the introduction of new indicators of the effectiveness of research by scientists and their analysis. **Novelty** of the work lies in the proposed two universal methods for quantifying the effectiveness of scientist's scientific research on the basis of its citation distribution schedules: a measuring method that reduces this estimate to a comparison of scientist's citation distribution with the citation distribution of a hypothetical single scientist, and the method of moments reducing this estimate to the computation of moment (of suitable order) of citations distribution of the scientist. **Result.** In the article a mathematical model and methods are developed in detail for the introduction of new indicators of the effectiveness of scientific research, their analysis and calculations.

Keywords: modeling of science, bibliometrics, publication, citation index, effectiveness of scientific research.

Information about Author

Vitaly Ilyich Levin – the Doctor of Engineering Sciences, Professor, PhD, Full Professor. Honored worker of science of the Russian Federation. Penza State Technological University. Field of Research: logic; mathematical modeling in technics, economy, sociology, history; decision-making; optimization; automata theory; theory of reliability; history of science; problems of education. E-mail: vilevin@mail.ru

Address: 440039, Russia, Penza, pr. Baydukova / Gagarin st., 1a/11.

УДК 621.396

Организация адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи с учетом изменяющейся помеховой обстановки

Ковальский А. А.

Постановка задачи. Возрастающие объемы передаваемой информации при высоких требованиях к качеству обслуживания и ограниченность радиоресурса космического аппарата связи актуализируют вопросы обеспечения высокой пропускной способности земных станций спутниковой связи в условиях динамично изменяющейся помеховой обстановки. При реализации существующих технологий мультиплексирования трафика в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи выделение радиоресурса происходит под пиковые значения интенсивности информационных потоков, без учета его статистических характеристик, что выражается в недоиспользовании радиоресурса при общем его дефиците. **Цель работы** заключается в повышении пропускной способности земных станций спутниковой связи в условиях помеховой обстановки. Для достижения цели предлагается использовать технологию адаптивного мультиплексирования трафика, которая будет учитывать его статистические характеристики в различных условиях помеховой обстановки, что позволит повысить пропускную способность земных станций спутниковой связи и выполнить требования по качеству обслуживания мультисервисного трафика. **Используемые методы.** Решение задачи организации оперативного управления мультисервисного трафика при адаптивном мультиплексировании в каналообразующей аппаратуре земных станций основано на использовании марковских моделей модулированного пуассоновского процесса и алгоритмов, применяемых в теории телетрафика с учетом специфики функционирования сетей спутниковой связи. Для исследования разработанных моделей использована методика расчета, реализованная в пакете программ математического моделирования MatLab. **Новизна.** Элементом научной новизны работы является учет ряда факторов: свойств поступающего мультисервисного трафика (нестационарность, разнородность, приоритетность в обслуживании, выполнение требований по качеству обслуживания) и наличия различных режимов функционирования спутниковых радиолиний, которые зависят от условий помеховой обстановки. **Результат.** Использование технологии адаптивного мультиплексирования в сочетании с механизмом динамического назначения приоритетов в обслуживании мультисервисного трафика позволяет заметно увеличить число каналов связи по сравнению с существующей технологией, что соответствует повышению пропускной способности земных станций спутниковой связи либо обеспечению требуемой пропускной способности в условиях помеховой обстановки. При этом стоит отметить, что повышение пропускной способности будет зависеть от требований, предъявляемых к качеству обслуживания, вида передаваемого трафика, а также выбора режима работы модемного оборудования. Так, при наиболее жестких требованиях к качеству обслуживания выигрыш составит до 40%, при менее жестких (неограниченная допустимая задержка) – предельно достижимые значения составят до 120%, что в среднем составляет порядка 80%. **Практическая значимость.** Представленное решение предлагается реализовать в виде специального программно-математического обеспечения каналообразующей аппаратуры на основе программно-модульной

Библиографическая ссылка на статью:

Ковальский А. А. Организация адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи с учетом изменяющейся помеховой обстановки // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 175–212. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/11-Kovalsky.pdf>

Reference for citation:

Kovalsky A. A. The Organization of Adaptive Multiplexing of a Traffic of Multiservice Networks in the Channeling Equipment of Land Satellite Communication System with Taking into Account the Changing Jamming Situation. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 1, pp. 175–212. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-01/11-Kovalsky.pdf> (in Russian).

платформы, которая должна быть интегрирована в состав автоматизированной системы управления земной станции спутниковой связи. Реализация на основе программно-модульной платформы позволит на основе анализа статистических свойств мультисервисного трафика осуществлять его оперативное управление при адаптивном мультиплексировании в условиях изменяющейся помеховой обстановки, путем назначения информационным потокам приоритетов в обслуживании.

Ключевые слова: адаптивное мультиплексирование, оперативное управление, мультисервисный трафик, земная станция спутниковой связи, помеховая обстановка.

Актуальность

Важное место в телекоммуникационной инфраструктуре занимают сети спутниковой связи (ССС). Широкое распространение спутниковой связи обусловлено такими уникальными ее свойствами, как высокая гибкость реконфигурации сетей, возможность оперативной организации связи на обширных пространствах и пересеченной местности, независимость стоимости и качества спутниковых каналов от их протяженности. В настоящее время наблюдается значительный рост объемов передаваемых информационных потоков, а также качественное изменение их структуры. Структура трафика современных мультисервисных сетей (далее – мультисервисного трафика) включает одновременно передаваемые потоки речевой и видеоинформации, изображений, данных и другой информации. Такие информационные потоки предъявляют существенно различающиеся и все более жесткие требования к качеству обслуживания. Однако ограниченность частотно-временного энергетического ресурса (далее – радиоресурса) космических аппаратов связи (КАС), необходимость учета различных режимов эксплуатации земных станций спутниковой связи (ЗССС) не позволяют достигать необходимого качества предоставляемых услуг только за счет экстенсивного наращивания орбитального ресурса и требуют принятия специальных мер для обеспечения заданной пропускной способности ССС.

Как показано в работах [1-2], высокие требования по устойчивости функционирования телекоммуникационных систем вступают в противоречие с низкой помехоустойчивостью каналов радиосвязи к внешним помеховым воздействиям. Для обеспечения высокой помехоустойчивости современных радиоканалов связи используются сигналы с различными видами модуляции и помехоустойчивого кодирования с переменной скоростью, схемы применения которых адаптируются к помеховой обстановке в интересах достижения максимальной битовой скорости передачи в текущих условиях.

При существующей технологии мультиплексирования трафика в ЗССС выделение радиоресурса происходит под пиковые значения интенсивности информационного потока без учета статистических характеристик мультисервисного трафика, что выражается в недоиспользовании радиоресурса при общем его дефиците. Поэтому особую актуальность приобретает задача обеспечения высокой пропускной способности сетей спутниковой связи при передаче мультисервисного трафика за счет учета его статистических характеристик и дифференциации качества обслуживания разнородных абонентов при мультиплексировании спутниковых радиолиний.

Вопросы управления телекоммуникационными ресурсами для повышения качества обслуживания, а также эффективного распределения ограниченного радиоресурса ЗСС рассматривались в работах [3-7]. При этом важную роль для исследования вопросов повышения пропускной способности ЗСС приобретает задача мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в ЗСС с учетом его статистических свойств и приоритетов в обслуживании при ограниченном радиоресурсе КАС. Основным фактором, осложняющим решение данной задачи, являются разнородность структуры трафика, формируемого мультисервисными приложениями, а также необходимость учета колебаний пропускной способности ЗСС при изменении помеховой обстановки.

В состав каналообразующей аппаратуры (КОА) типовой ЗСС входит модемное оборудование с адаптивными режимами работы и мультиплексор с технологией временного уплотнения каналов (рис. 1). Режимы работы модемного оборудования могут выбираться адаптивно или назначаться директивно в зависимости от текущих условий обстановки. К мультиплексору подключены сети доступа, в состав которых входят оконечные устройства – источники мультисервисного трафика. Мультиплексор формирует виртуальные каналы связи, обеспечивая транспорт для передачи мультисервисного трафика, при этом конкретное число каналов зависит от режима работы модемного оборудования ЗСС.

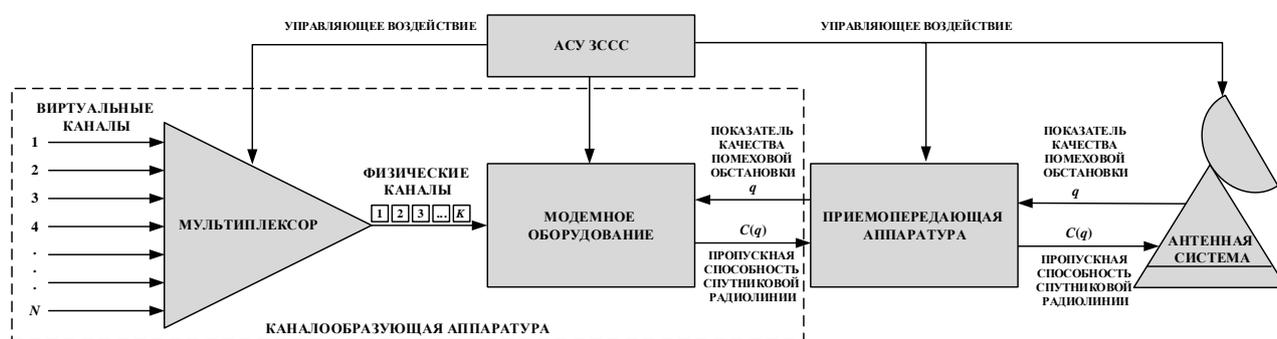


Рис. 1. Структурная схема типовой ЗСС

В работе [8] проведена классификация телекоммуникационных служб и приложений по типу информации, требованиям реального времени и требованиям для поддержки качества обслуживания, что позволило сформировать список телекоммуникационных служб и распределить их по степени важности. Данный список представлен в таблице 1.

Как показано в таблице 1, приоритеты обслуживания трафика (телекоммуникационных служб и приложений) подразделяются на несколько классов:

- класс А: трафик с поддержкой качества обслуживания, обслуживаемый с более высоким приоритетом;
- класс В: трафик без поддержки качества обслуживания, обслуживаемый с более низким приоритетом.

Таблица 1 – Классификация телекоммуникационных служб (приложений)
по приоритетам в обслуживании

№ п/п	Решаемая задача	Аудио	Видео	Данные	Реальное время	Приоритет обслуживания
1	Обеспечение телеграфной, фототелеграфной и факсимильной связи	–	–	X	Низкое	B
2	Обеспечение телефонной связи	X	–	–	Высокое	A1
3	Информационный обмен технологическими данными	–	–	X	Среднее	A3
4	Электронный документооборот	–	–	X	Низкое	B
5	Передача информации в интересах банковских операций	–	–	X	Высокое	A1
6	Передача потоков телевизионного вещания	X	X	–	Высокое	A2
7	Организация каналов видеоконференцсвязи	X	X	X	Высокое	A1
8	Web-серфинг	X	X	X	Среднее	B
9	Загрузка файлов	–	–	X	Низкое	B

В пределах класса А дополнительно трафик делится на три подкласса:

- подкласс А1: трафик с самым высоким приоритетом;
- подкласс А2: трафик с переменной скоростью передачи и поддержкой передачи в реальном времени;
- подкласс А3: трафик с минимальными гарантиями качества обслуживания, но с более высоким приоритетом, чем для трафика класса В.

Подкласс А1 – наиболее требовательный, включает IP-телефонию, банковские сделки или высококачественные мультимедийные конференцсвязи. Они обрабатываются с использованием максимальной зарезервированной полосы пропускания и отличаются от других передач приоритетом. Трафик подкласса А2 имеет более высокие ограничения к потерям пакетов и задержке, но он более терпим, чем трафик подкласса А1. Этот трафик обычно требует переменной во времени полосы пропускания. Подкласс А3 предложен для приложений с ограничением на задержку пакетов, таких как Web-серфинг и непосредственные передачи файлов. Класс В не требует никаких явных гарантий качества обслуживания от канала связи. Он эквивалентен best-effort модели обслуживания – основной модели обслуживания сегодняшнего Интернета.

Согласно статистике, приведенной в работе [8], зависимость объемов передаваемого трафика телекоммуникационных служб (приложений) разных приоритетов в различных условиях (например, времени суток) представлены на рис. 2.

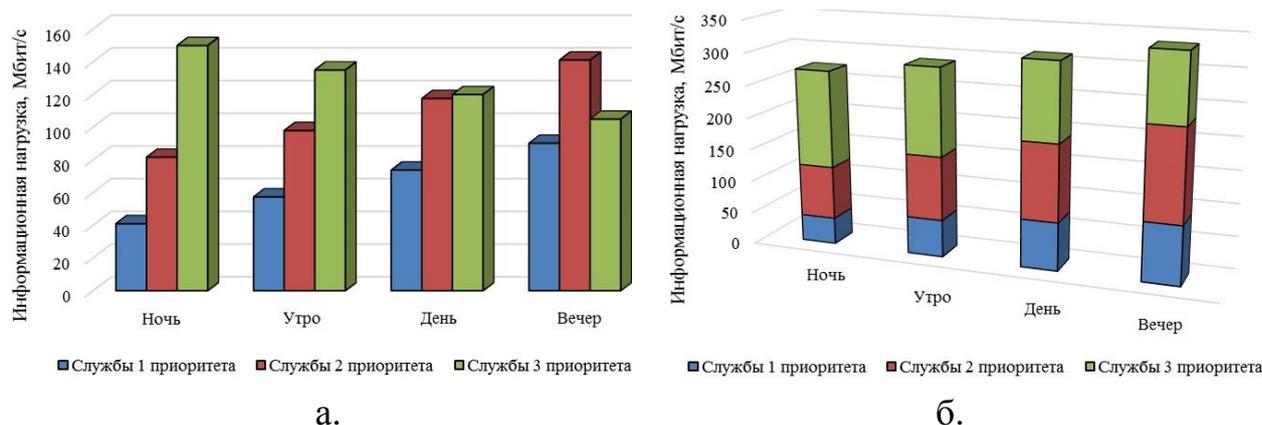


Рис. 2. Гистограммы распределения интенсивности информационной нагрузки для телекоммуникационных служб (приложений) заданных приоритетов в ЗССС в различные времена суток:

- а. – гистограмма с распределением;
- б. – гистограммы с накоплением.

Особенностью реализации протоколов DVB-S и DVB-S2 для каналов спутниковой связи является наличие режима ACM (Adaptive Coding and Modulation) для адаптивного выбора вида сигнала и скорости кодирования в зависимости от отношения сигнал/шум+помеха (ОСШП) на входе приемника. Показателем ОСШП является отношение энергии на сигнальный символ к спектральной плотности аддитивного белого гауссовского шума, значение которого соответствует суммарному уровню воздействия как естественных, так и аддитивных преднамеренных помех на канал связи. Режим ACM позволяет осуществлять гибкое регулирование параметрами кодирования и модуляции передатчика в зависимости от значения ОСШП на входе приемника при заданном уровне достоверности приема. При этом параметры кодирования и модуляции могут изменяться от кадра к кадру. Для достижения высокой спектральной эффективности в стандарте DVB-S определены различные скорости кодирования FEC (Forward Error Correction) при различных видах модуляции: QPSK, 8-PSK, 16-QAM. В стандарте DVB-S2 предусматривается большее число скоростей кодирования FEC (1/4 – 9/10) при более ёмких видах модуляции (QPSK, 8-PSK, 16-APSK и 32-APSK). Для защиты от ошибок приема сигналов в стандартах DVB-S и DVB-S2 используется перемежение данных и наложение двухуровневого кода для прямой коррекции ошибок FEC. В стандарте DVB-S в качестве внутреннего кода используется сверточное кодирование, в качестве внешнего – код Рида-Соломона. В стандарте DVB-S2 в качестве внутреннего кода используется код LDPC, в качестве внешнего – код БЧХ (код Боуза-Чоудхури-Хоквенгема). Таким образом, благодаря возможности адаптивного выбора вида модуляции и скоростей кодирования каналы могут работать в широком диапазоне значений ОСШП с показателем спектральной эффективности, близким к теоретически достижимому. Так, канал связи DVB-S2, может работать при ОСШП от -2,4 дБ до 16 дБ, при этом для этого канала доступны показатели эффективности спектра от 0,5 до 4,5 (бит/с)/Гц. Схемы адаптивного выбора вида модуляции и скорости

кодирования для DVB-S и DVB-S2 приведены в таблицах 2, 3 по данным, представленным в работах [9-13].

Таблица 2 – Параметры схемы адаптивного выбора созвездия сигналов и скорости помехоустойчивого кодирования для канала DVB-S

ОСШП в полосе частот канала [дБ]	Тип сигнала	Скорость кодирования	Коэффициент эффективности спектра [(бит/с)/Гц]
2,7	QPSK $I=2$	1/2	1
4,3		2/3	1,33
5,5		3/4	1,5
6,6		5/6	1,67
7,2		7/8	1,75
8,2	8-PSK $I=3$	3/4	2,25
10,4		5/6	2,5
11,25		7/8	2,625
11,5	16-QAM $I=4$	5/6	3,33
13,2		7/8	3,5

Таблица 3 – Параметры схемы адаптивного выбора вида модуляции сигналов и скорости помехоустойчивого кодирования для канала DVB-S2

ОСШП в полосе частот канала [дБ]	Тип сигнала	Скорость кодирования R	Коэффициент эффективности спектра [(бит/с)/Гц]
-2,35	QPSK $I=2$	1/4	0,49
-1,24		1/3	0,66
-0,3		2/5	0,79
1		1/2	1
2,23		3/5	1,19
3,1		2/3	1,32
4,03		3/4	1,49
4,68		4/5	1,59
5,18		5/6	1,65
6,2		8/9	1,77
6,42	8-PSK $I=3$	9/10	1,79
5,5		3/5	1,78
6,62		2/3	1,98
7,91		3/4	2,23
9,35		5/6	2,48
10,69		8/9	2,65
10,98	16-APSK $I=4$	9/10	2,68
8,97		2/3	2,64
10,21		3/4	2,97
11,03		4/5	3,17
11,61		5/6	3,3
12,89	32-APSK $I=5$	8/9	3,52
13,13		9/10	3,57
12,73		3/4	3,7
13,64		4/5	3,95
14,28		5/6	4,12
15,69	8/9	4,4	
16,05		9/10	4,45

На рис. 3 приведены результаты моделирования значений показателя эффективности спектра для заданной вероятности ошибки пакета 10^{-7} для каналов DVB-S2 и DVB-S, представленные в работе [14]. При использовании модели канала с гауссовым шумом увеличение пропускной способности канала DVB-S2 составляет 20–35% в сравнении с DVB-S при тех же условиях передачи. Такое увеличение пропускной способности канала DVB-S2 соответствует улучшению условий приема на 2–2,5 дБ при той же эффективности спектра.

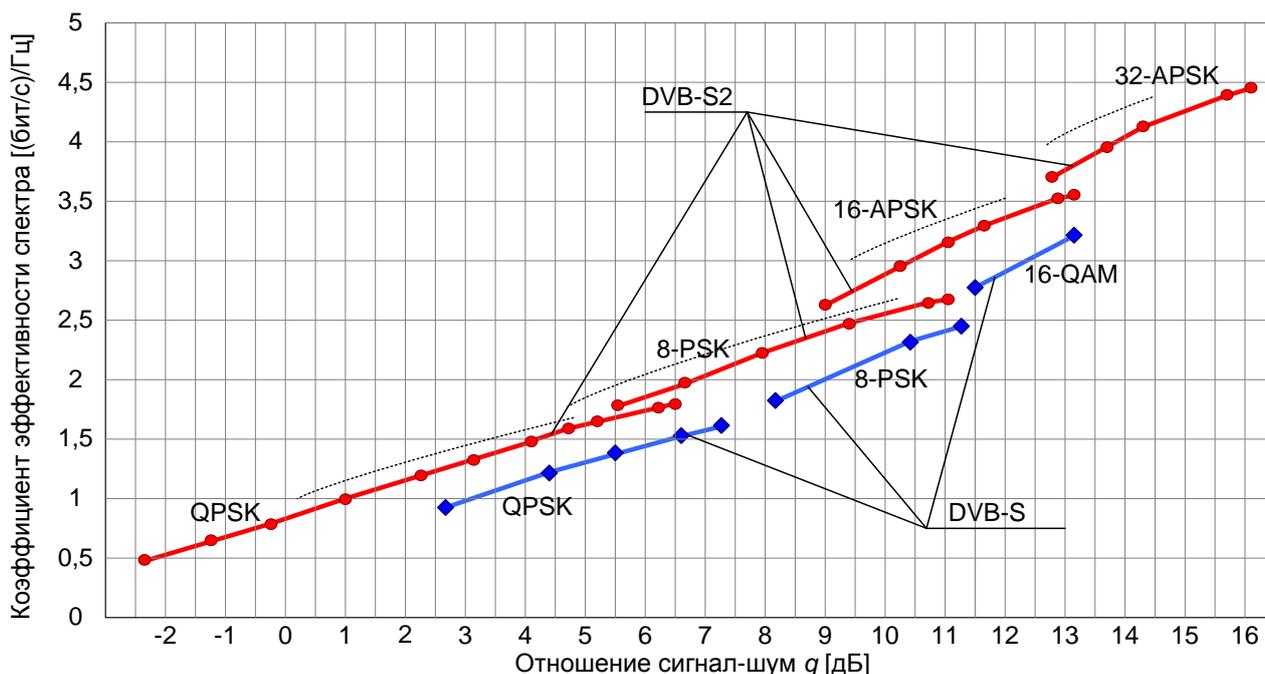


Рис. 3. Результаты моделирования значений показателя эффективности спектра для каналов DVB-S и DVB-S2

Анализ работы [15] позволил определить зависимость (рис. 4) изменения пропускной способности $C(q)$ спутниковой радиолинии типовой ЗССС от изменения показателя качества помеховой обстановки – отношение сигнал/(шум+помеха), обозначаемого q .

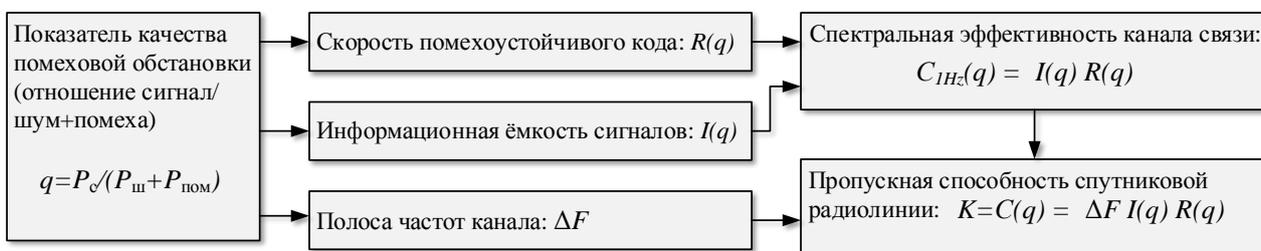


Рис. 4. Структурная схема зависимости пропускной способности канала спутниковой связи от условий помеховой обстановки

Используя расчетные соотношения, представленные на рис. 3, 4 и исходные данные представленные в таблицах 2, 3, и технические характеристики КОА

типовых ЗССС, получим зависимости количества каналов связи, организуемых ЗССС, от применения различных конфигураций модемного оборудования (вида модуляции сигнала и скорости помехоустойчивого кодирования), представленный на рис. 5. Используя данные, ранее представленные на рис. 2, получим зависимости объемов передаваемого трафика телекоммуникационных служб разных приоритетов в различных условиях помеховой обстановки, представленные на рис. 5.

Анализ этих зависимостей показал, что использование помехозащищенных режимов работы модемного оборудования приводит к снижению пропускной способности ЗССС до уровня 25–35% от максимально возможной. С другой стороны, информационная нагрузка приоритетных служб и абонентов будет возрастать с усложнением помеховой обстановки. Обеспечение функционирования ССС в таких условиях приведет к необходимости отключения части каналов спутниковой связи в соответствии с их классами важности. Граничные значения режимов работы ЗССС, при которых происходит отключение каналов, приведены на рис. 5. Для компенсации этих негативных эффектов необходимо повысить пропускную способность земных станций спутниковой связи или обеспечить их заданную пропускную способность в условиях помеховой обстановки. Решению этой задачи посвящена данная работа.

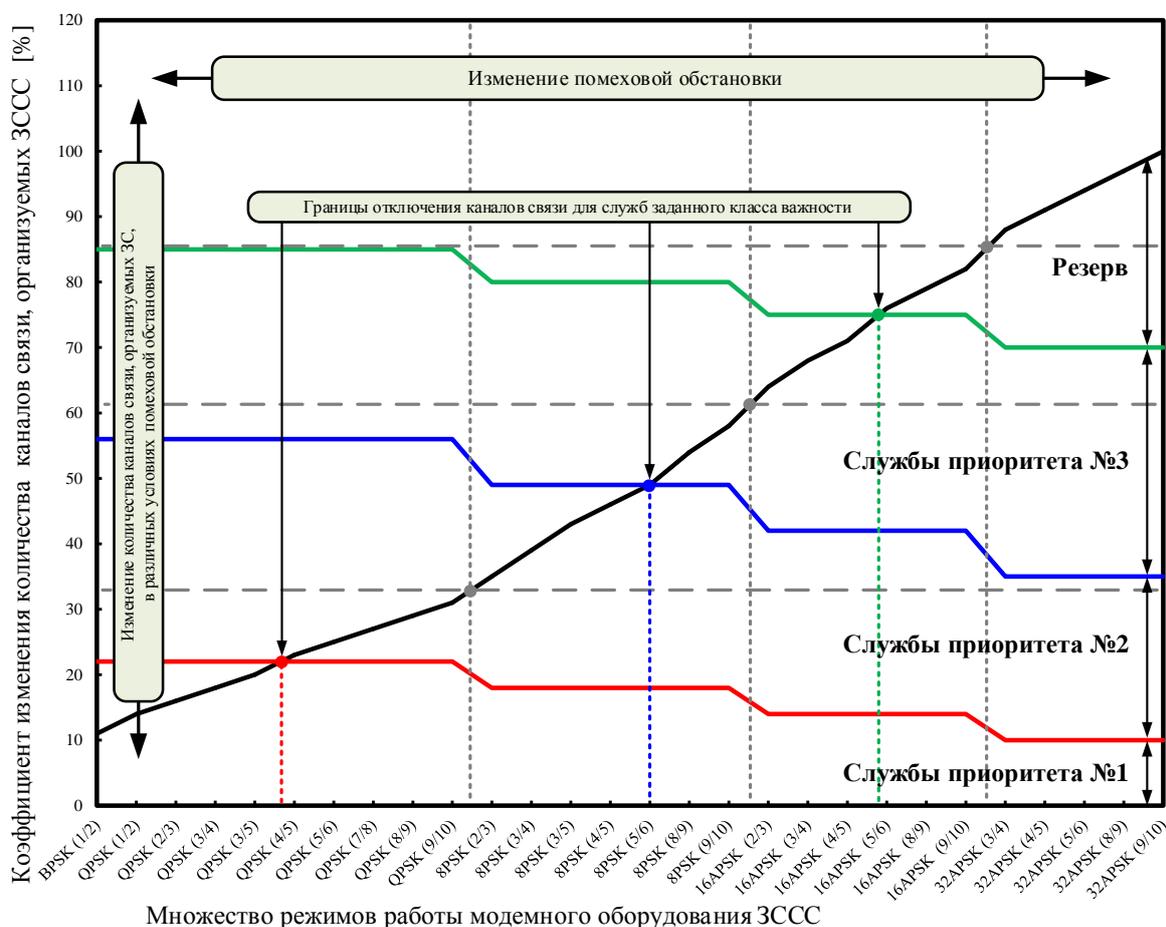
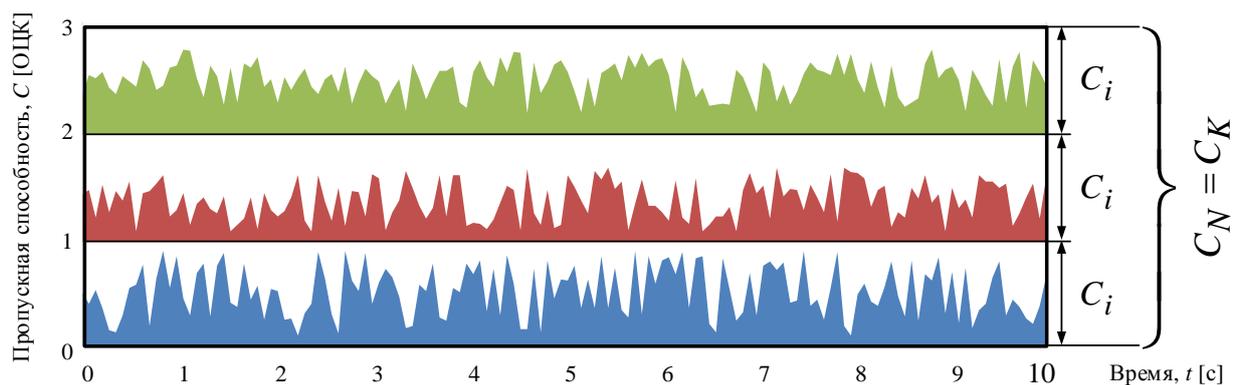
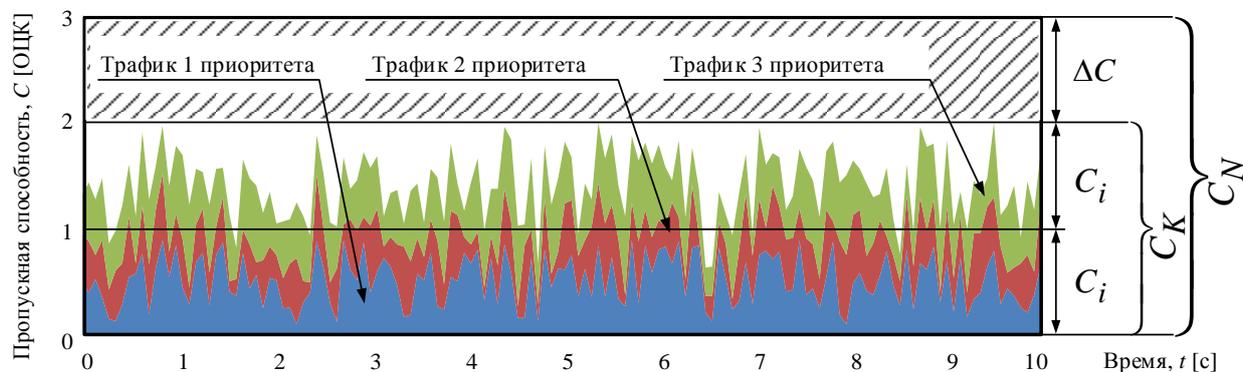


Рис. 5. График зависимости количества каналов связи, организуемых ЗССС от применения различных конфигураций модемного оборудования

Анализ статистических свойств мультисервисного трафика ССС, проведенный в работах [16-18] позволил сделать вывод, что загрузка каналов спутниковой связи в среднем не превышает 40%. Данный факт в основном связан со спецификой работы телекоммуникационных служб ССС (клиент-серверных приложений, IP-телефонии и других видов диалогового трафика). Наличие длительных временных пауз при использовании каналов различными приложениями позволяет организовать дополнительные каналы (рис. 6), однако при этом не должно ухудшаться качество передачи информации, особенно приоритетных источников.



а.



б.

Рис. 6. Сравнение пропускной способности ЗССС при различных технологиях мультиплексирования трафика:

- а. – технология временного мультиплексирования трафика;
- б. – технология адаптивного мультиплексирования трафика.

Исходя из вышеизложенного, возникает противоречие, заключающееся в наличии временных пауз в передаче трафика от отдельных источников, которые можно использовать как резерв для организации дополнительных каналов, путем адаптивного мультиплексирования, и необходимостью обеспечения требований по качеству обслуживания приоритетных абонентов.

Разрешение данного противоречия требует построения особого класса моделей и алгоритмов, которые, с одной стороны, способны учитывать

статистические свойства трафика, а именно его разнородность и нестационарность, а с другой стороны – обеспечить требуемое качество обслуживания приоритетных источников. Следует отметить, что существующие алгоритмы и технологии мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в ЗССС не в полной мере позволяют учесть его статистические характеристики и приоритетность в обслуживании.

Таким образом, подводя итог, можно сделать вывод о том, что исследования, направленные на изучение процессов при организации адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи, являются актуальными.

Постановка задачи исследования адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи

Для формальной постановки и решения задачи исследования в статье введены следующие обозначения и расчетные соотношения, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Принятые обозначения и расчетные соотношения

Обозначение	Физический смысл обозначения
A_{ou}	– множество алгоритмов оперативного управления мультисервисного трафика при организации адаптивного мультиплексирования, которые необходимо разработать для достижения цели исследования;
B	– объем памяти буфера обмена мультиплексора, выделенной для обслуживания входящего трафика;
C	– пропускная способность одного канала связи ЗССС;
$C(q)$	– зависимость пропускной способности спутниковой радиолинии от вида модуляции и скорости помехоустойчивого кодирования;
$C_{Hz}(q)$	– спектральная эффективность канала связи;
C_i	– пропускная способность i -го канала связи ЗССС;
C_K	– суммарная пропускная способность физических каналов связи: $C_K = \sum C_K$;
C_N	– суммарная пропускная способность виртуальных каналов связи: $C_N = \sum C_N$;
$I(q)$	– зависимость информационной емкости сигнала от показателя помеховой обстановки;
K	– емкость канальной группы, выраженная в количестве стандартных (физических) каналов связи, выделяемая для передачи группового потока уплотненного трафика, которая организуется на выходе мультиплексора ЗССС и зависит от режима работы спутниковой радиолинии;
M_{AM}	– множество моделей, предназначенных для исследования адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в ЗССС;
N	– количество виртуальных (логических) каналов связи, организуемых на входе мультиплексора ЗССС при подключении абонентов сети;
P_c	– мощность сигнала;
P_i	– стационарная вероятность нахождения процесса в i -м состоянии;
P_{Π}	– вероятность потери пакета при организации адаптивного мультиплексирования в КОА ЗССС;

Обозначение	Физический смысл обозначения
$P_{п1}$	– вероятность потери пакета трафика высокого приоритета в обслуживании при организации адаптивного мультиплексирования в КОА ЗССС;
$P_{п2}$	– вероятность потери пакета трафика низкого приоритета в обслуживании при организации адаптивного мультиплексирования в КОА ЗССС;
$P_{пом}$	– мощность помехи;
$P_{треб}$	– требуемая вероятность потери пакета согласно классу обслуживания мультисервисного трафика;
$P_{треб1}$	– требуемая вероятность потери пакета для трафика высокого приоритета;
$P_{треб2}$	– требуемая вероятность потери пакета для трафика низкого приоритета;
$P_{ш}$	– мощность шума;
q	– показатель помеховой обстановки: $q=P_{ш}/(P_{ш}+P_{пом})$;
q_1	– средняя длина очереди пакетов в памяти буфера мультиплексора с высоким приоритетом в обслуживании;
q_2	– средняя длина очереди пакетов в памяти буфера мультиплексора с низким приоритетом в обслуживании;
R	– ресурс мультиплексора, выделяемый для уплотнения входящего трафика: $R=K+B$;
$R(q)$	– зависимость скорости помехоустойчивого кода от показателя помеховой обстановки;
t_1	– среднее время мультиплексирования одного пакета входящего трафика с высоким приоритетом в обслуживании;
t_2	– среднее время мультиплексирования одного пакета входящего трафика с низким приоритетом в обслуживании;
T_3	– среднее время задержки пакета при организации адаптивного мультиплексирования в КОА ЗССС;
T_{31}	– среднее время задержки пакета трафика высокого приоритета при организации адаптивного мультиплексирования в КОА ЗССС;
T_{32}	– среднее время задержки пакета трафика низкого приоритета при организации адаптивного мультиплексирования в КОА ЗССС;
$T_{треб}$	– требуемое время задержки пакета согласно классу обслуживания мультисервисного трафика;
$T_{треб1}$	– требуемое время задержки пакета для трафика высокого приоритета;
$T_{треб2}$	– требуемое время задержки пакета для трафика низкого приоритета;
$V_{п}$	– объем пакета;
α	– интенсивность включения (активность) передачи данных от источников трафика (абонентов сети): $\alpha=1/\tau_a$;
β	– интенсивность выключения (умолкания) передачи данных от источников трафика (абонентов сети): $\beta=1/\tau_{п}$;
ΔF	– полоса частот;
$\Delta\rho$	– коэффициент повышения количества организуемых каналов связи: $\Delta\rho=(N-K)/K$;
ΔC	– прирост пропускной способности спутниковой радиолинии: $\Delta C=C(N-K)=\Delta\rho KC$;
η	– коэффициента активности источника трафика (абонентов сети): $\eta=\tau_a/(\tau_a+\tau_{п})$
λ_1	– интенсивность поступления пакетов трафика с высоким приоритетом в обслуживании: $\lambda_1=1/\tau_1$;
λ_2	– интенсивность поступления пакетов трафика с низким приоритетом в обслуживании: $\lambda_2=1/\tau_2$;
μ_1	– интенсивность мультиплексирования пакетов трафика с высоким приоритетом в обслуживании: $\mu_1=1/t_1$;

Обозначение	Физический смысл обозначения
μ_2	– интенсивность мультиплексирования пакетов трафика с низким приоритетом в обслуживании: $\mu_2 = 1/t_2$;
ρ	– коэффициент мультиплексирования спутниковых каналов связи;
τ_1	– средний интервал времени между последовательными поступлениями пакетов трафика с высоким приоритетом в обслуживании;
τ_2	– средний интервал времени между последовательными поступлениями пакетов трафика с низким приоритетом в обслуживании;
τ_a	– среднее время нахождения источника трафика (абонента сети) в активном состоянии;
τ_k	– среднее время кодирования пакета;
τ_n	– среднее время нахождения источника трафика (абонента сети) в пассивном состоянии;
ω_1	– среднее время задержки пакетов с высоким приоритетом обслуживания в памяти буфера мультиплексора до начала уплотнения;
ω_2	– среднее время задержки пакетов с низким приоритетом обслуживания в памяти буфера мультиплексора до начала уплотнения.

В качестве целевого показателя для оценки прироста пропускной способности ЗССС (ΔC) примем коэффициент мультиплексирования каналов связи (ρ), организуемых мультиплексором, который показывает отношение числа формируемых логических (виртуальных) каналов связи (N) к числу стандартных физических каналов мультиплексора (K), которое равно пропускной способности спутниковой радиолинии ЗССС $C(q)$. Тогда на вербальном уровне задача будет заключаться в максимизации целевого показателя путем увеличения виртуальных каналов связи (N), которые может организовать ЗССС, при заданной пропускной способности спутниковой радиолинии (K) и выполнении требований по качеству обслуживания трафика ($P_{\text{треб}}, T_{\text{треб}}$) и может быть декомпозирована в следующем виде:

- 1) формирование множества моделей (M_{AM}), для исследования адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в ЗССС;
- 2) построение множества алгоритмов оперативного управления (A_{OY}) мультисервисного трафика при организации адаптивного мультиплексирования для решения оптимизационной задачи максимизации целевого показателя при заданных ограничениях.

На формальном уровне постановка задачи исследования имеет следующий вид. Дано: пропускная способность спутниковой радиолинии ЗССС (K), которая в конечном счете зависит от показателя помеховой обстановки (q). Найти: такое значение целевого показателя (ρ), при котором будет достигнуто максимальное количество виртуальных каналов связи (N), которые может организовать ЗССС при заданных ограничениях на качество обслуживания трафика ($P_{\text{треб}}, T_{\text{треб}}$). То есть определить:

$$\rho = \frac{C_N}{C_K} = \frac{N}{K} \rightarrow \max_{\{M_{AM}, A_{OY}\}} \begin{cases} P_n \leq P_{\text{треб}}; \\ T_3 \leq T_{\text{треб}}. \end{cases} \quad (1)$$

Разработка моделей адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей

Для достижения цели исследований необходимо решить задачу организации адаптивного мультиплексирования и оперативного управления мультисервисного трафика в КОА ЗССС. Для выполнения данной задачи необходимо провести исследования изменения вероятностно-временных характеристик (ВВХ) мультисервисного трафика, а именно вероятности потери пакета ($P_{п}$) и среднего времени задержки пакета (T_3) при его мультиплексировании на предмет соответствия их требуемым значениям ($P_{треб}$, $T_{треб}$). Для этого в статье разработан ряд моделей адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей. Схематично данные модели возможно представить в виде системы массового обслуживания, изображенной на рис. 7

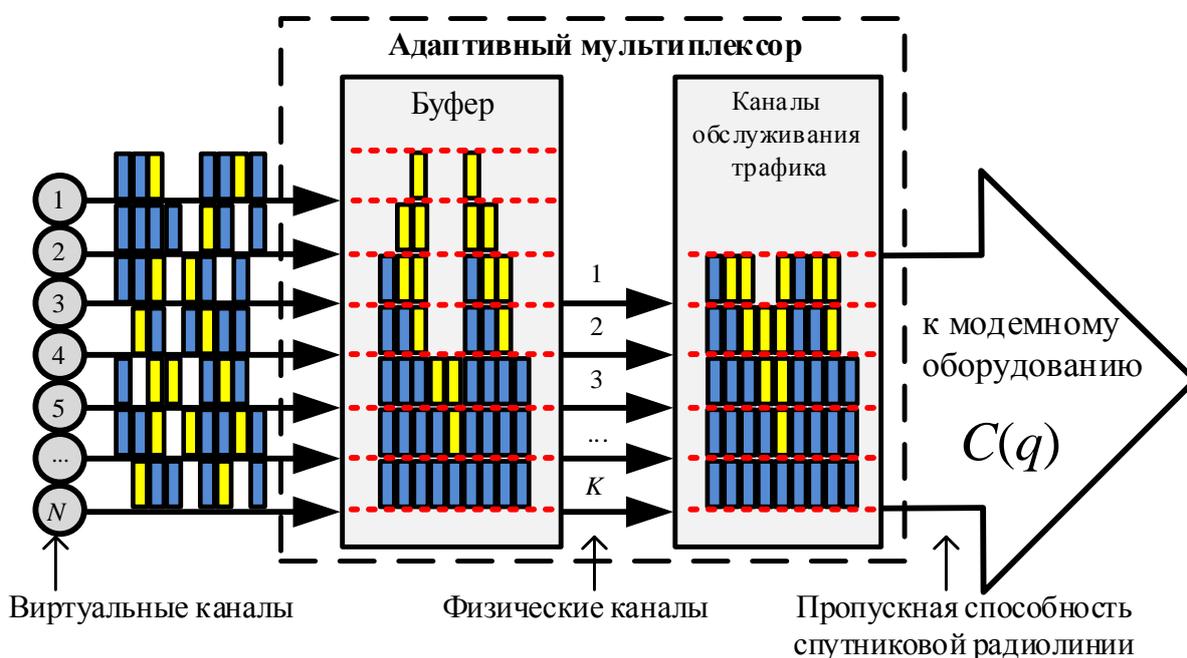


Рис. 7. Модель адаптивного мультиплексирования трафика с учетом приоритетов, представленная в виде системы массового обслуживания

Первая модель адаптивного мультиплексирования учитывает приоритеты в обслуживании поступающего мультисервисного трафика на вход мультиплексора и представляет собой случайный марковский процесс, граф состояний и переходов которого представлен на рис. 8.

Данный граф изображает процесс обслуживания двух разнородных потоков пакетов с высшим (ось x) и низшим (ось y) приоритетами. Каждое состояние процесса характеризуется двумя индексами по числу пакетов трафика соответствующего приоритета, находящихся на обслуживании в мультиплексоре, а переходы между состояниями – поступлением нового пакета, либо завершением его обслуживания. Для обслуживания пакетов мультиплексор распределяет каналный ресурс, выраженный количеством стандартных физических каналов связи (K), и равный пропускной способности

спутниковой радиолинии $C(q)$, в случае его недостатка поступающие пакеты помещаются в буфер емкостью B . В модели учитывается приоритетная дисциплина обслуживания, поэтому при переполнении буфера пакеты высшего приоритета вытесняют из буфера пакеты с низким приоритетом.

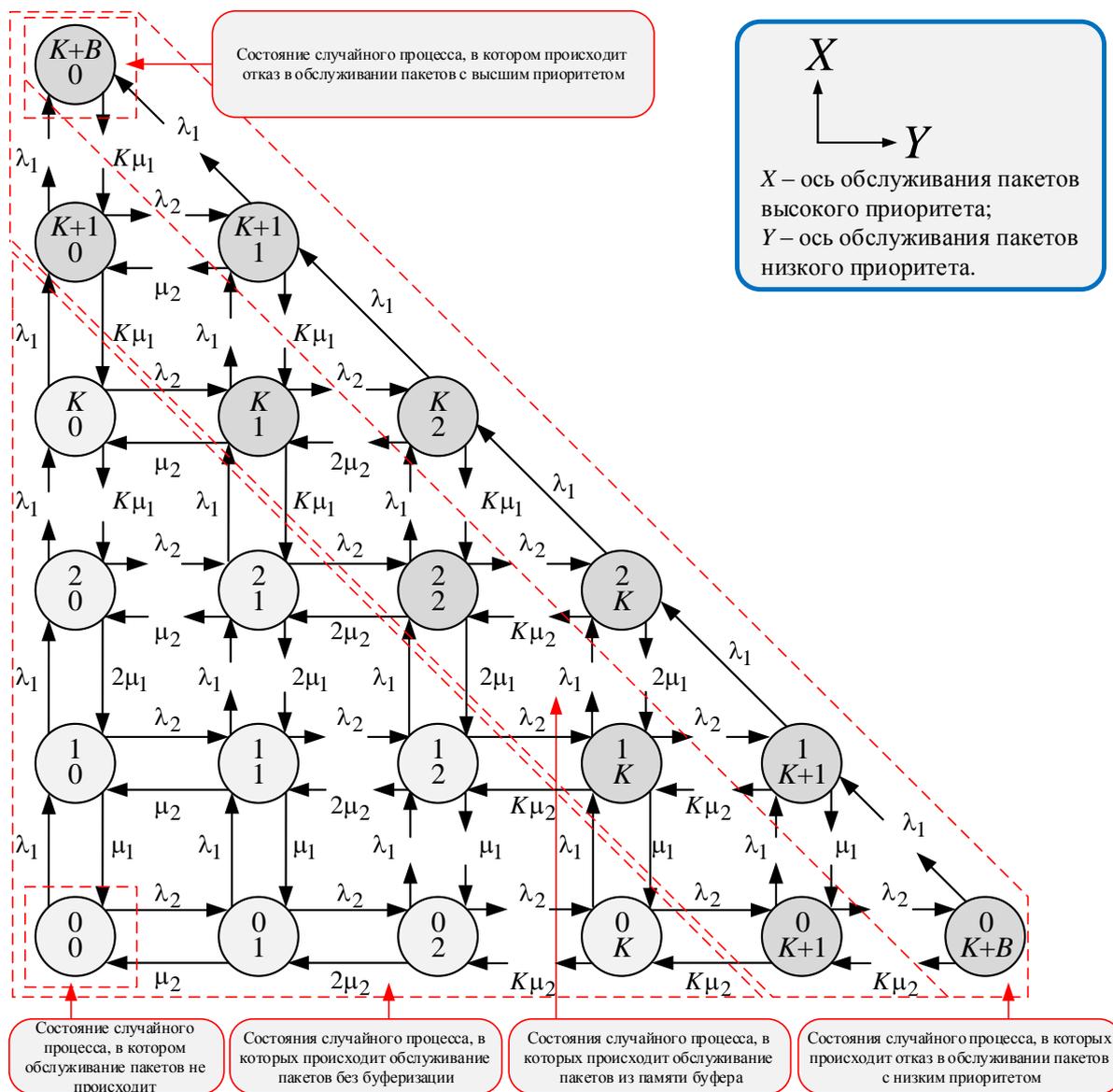


Рис. 8. Модель адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей с учетом приоритетов в обслуживании

Данный подход в построении моделей позволяет конструировать графы случайного марковского процесса различной сложности путем введения дополнительных размерностей в пространстве состояний, что соответствует учету дополнительного количества приоритетов в обслуживании. Так, для примера, на рис. 9 представлен граф случайного марковского процесса, учитывающий трехприоритетную дисциплину обслуживания – пакеты высшего, среднего и низшего приоритета. Принцип работы модели аналогичен предыдущей.

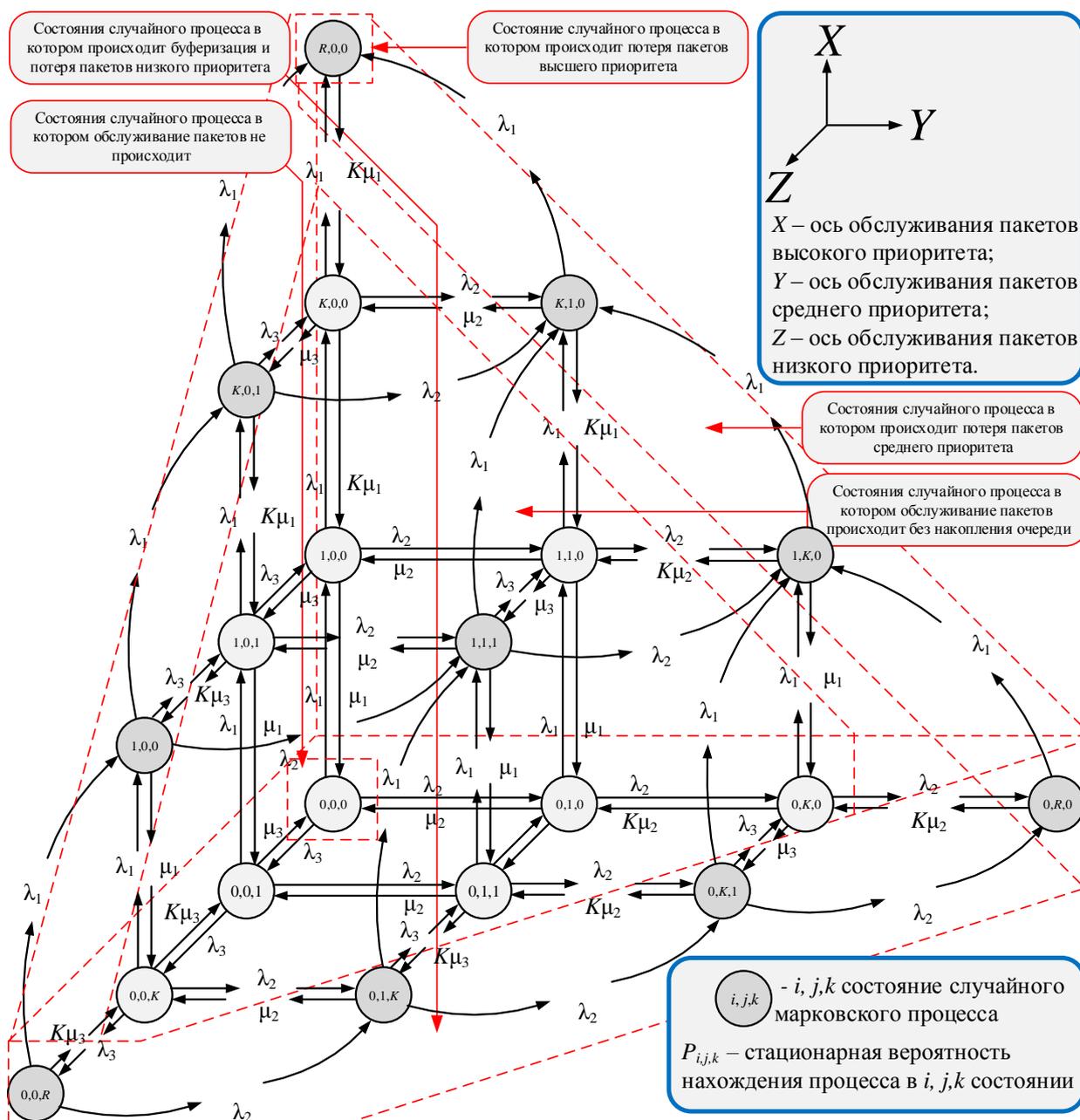


Рис. 9. Развитие модели адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей с учетом приоритетов в обслуживании

Стоит отметить, что существенным ограничением данного класса моделей является наличие допущения о том, что потоки пакетов на входе мультиплексора являются стационарными пуассоновскими потоками, что в ряде случаев не соответствует действительности. Как показывают исследования реального мультисервисного трафика, представленные в работах [19-22], его структура существенно отличается от простейшего пуассоновского потока и характеризуется нестационарностью и долговременной корреляционной зависимостью – самоподобностью.

Одним из конструктивных направлений моделирования таких потоков, в рамках которого имеется возможность получения аналитического решения, является применение марковских моделей пуассоновских процессов (ММП).

Частным случаем таких моделей являются модели прерываемых пуассоновских процессов или ON-OFF модели, одна из которых изображена на рис. 10.

Каждый источник при этом имеет следующую структуру. В период активности (ON-периоды) источник генерирует пуассоновский поток пакетов. После периода активности следует пауза (OFF-период), когда источник не генерирует пакеты. Длительности периодов активности и пауз являются случайными величинами, распределенными по экспоненциальному закону.

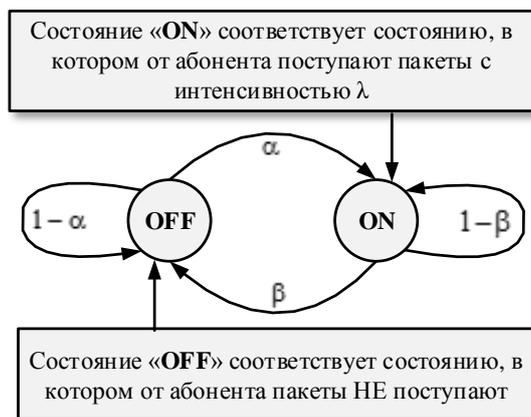


Рис. 10. Модель источника нестационарного трафика

Комбинация нескольких таких ON-OFF источников образует ММПП, интенсивность которого изменяется во времени, что позволяет учесть нестационарность реальных входных потоков. На рис. 11 показана зависимость интенсивности нескольких ON-OFF источников во времени.

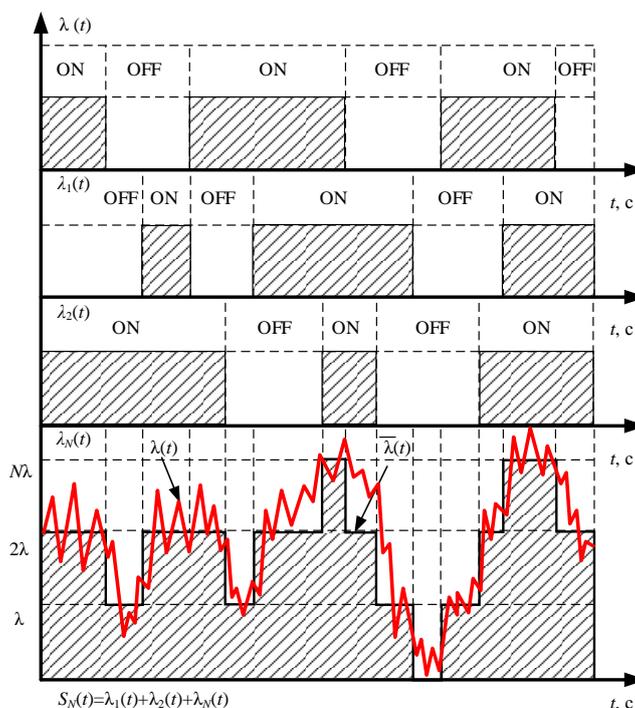


Рис. 11. Зависимость интенсивности нескольких ON-OFF источников во времени

На рис. 12 изображен граф марковской цепи, моделирующей процесс активизации группы, состоящей из N абонентов (источников мультисервисного трафика), для обслуживания которых мультиплексор предоставляет виртуальные каналы связи.

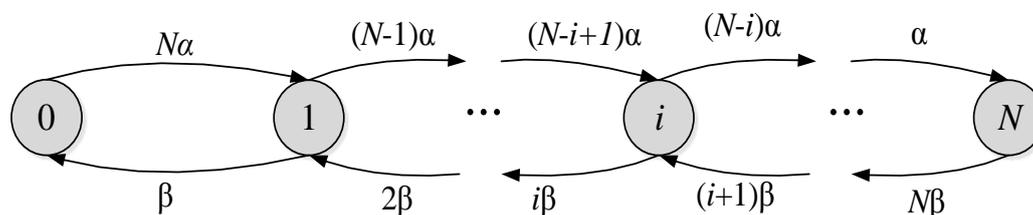


Рис. 12. Модель источника нестационарного трафика

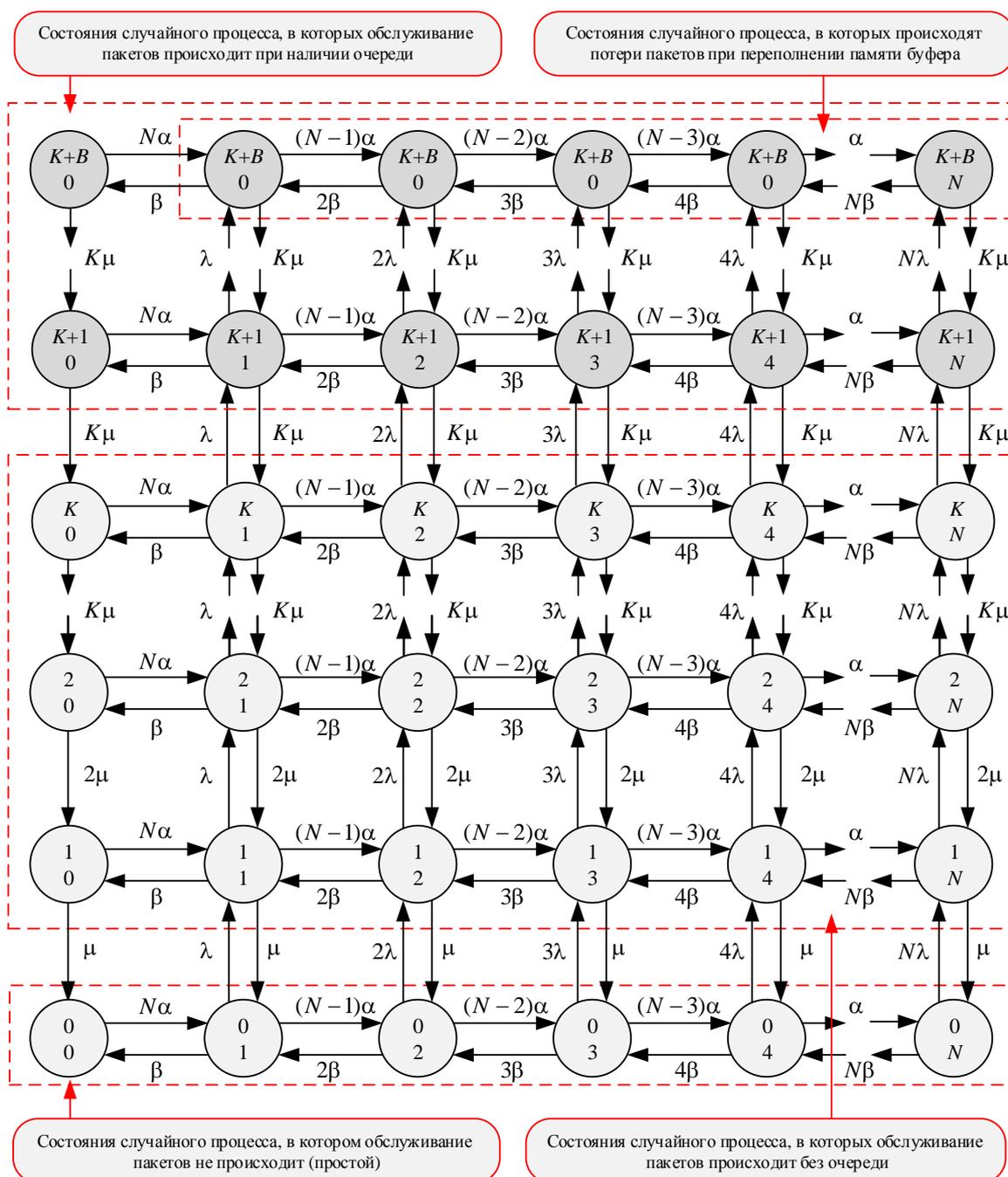


Рис. 13. Модель адаптивного мультиплексирования однородного нестационарного трафика от группового источника

Граф, изображенный на рис. 12, описывается системой дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена:

$$\begin{cases} \dot{p}_0(t) = -N\alpha p_0(t) + \beta p_1(t); \\ \dot{p}_i(t) = (N-i)\alpha p_{i-1}(t) - ((N-i+1)\alpha + \\ + (N-i+1)\beta) p_i(t) + (N-i)\beta p_{i+1}(t); \\ \dot{p}_N(t) = \alpha p_{N-1}(t) - N\beta p_N(t). \end{cases} \quad (2)$$

Данный подход в моделировании мультисервисного трафика позволил разработать вторую модель адаптивного мультиплексирования, которая учитывает нестационарность трафика и представляет собой граф состояний и переходов случайного марковского процесса (см. рис. 13).

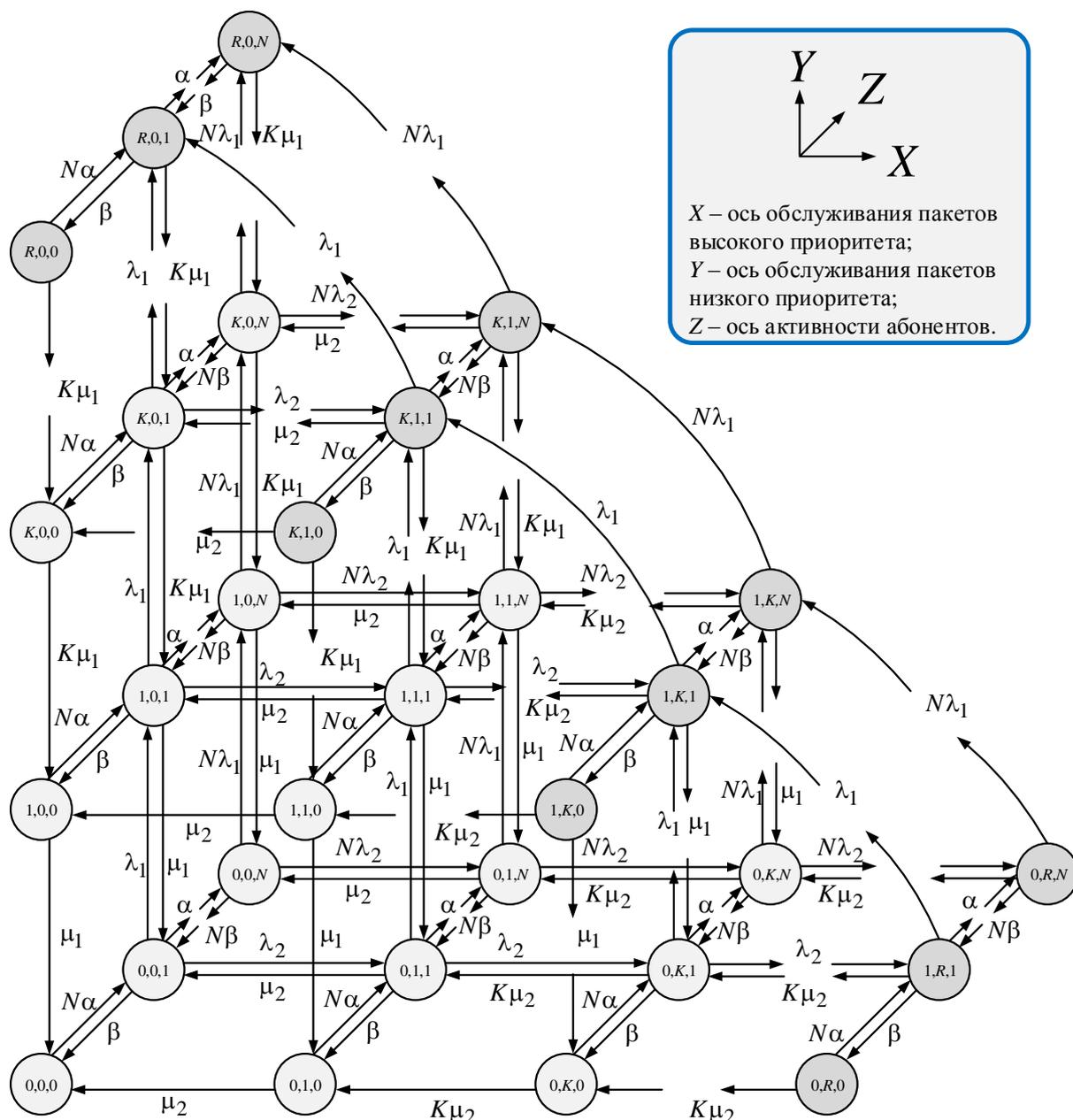


Рис. 14. Обобщенная модель адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисной сети

Модель описывает процесс обслуживания в мультиплексоре пакетов, изображенных переходами по оси y , которые поступают с изменяющейся интенсивностью от однородного группового источника, состоящего из N виртуальных каналов, создаваемых для обслуживания источников трафика (абонентов сети), представленных переходами по оси x . Состояние процесса характеризуется двумя индексами: количеством пакетов, находящихся на обслуживании в данный момент и числом активных виртуальных каналов (источников трафика или абонентов сети).

Сочетание моделей приоритетного обслуживания (рис. 8–9) и ММП в качестве модели трафика (рис. 12–13) позволяет построить обобщенную модель мультиплексирования трафика мультисервисных сетей, представленную на рис. 14. Эта модель отличается от известных учетом нестационарности входящих информационных потоков и приоритетов в их обслуживании. Приоритеты и разнородность трафика на рис. 14 учитываются по осям x и y , изменение интенсивности трафика (нестационарность) – по оси z . Каждое состояние процесса адаптивного мультиплексирования трафика в ЗССС характеризуется тремя индексами: количеством пакетов трафика высшего и низшего приоритета, находящихся на обслуживании в мультиплексоре в данный момент и числом активных виртуальных каналов (источников трафика или абонентов сети).

Методика расчета моделей адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей

Использование разработанных моделей позволяет рассчитать вероятности стационарных состояний случайного марковского процесса $(p_{i,j,k})$, моделирующего работу адаптивного мультиплексора и оценить ВВХ мультисервисного трафика $(P_{п} \leq P_{\text{треб}}, T_3 \leq T_{\text{треб}})$ при его мультиплексировании. Методика расчета указанных характеристик подробно описана в работе [23] и включает в себя 4 этапа. В качестве примера приведен расчет ВВХ трафика для модели, изображенной на рис. 14.

Этап 1. На основе системы дифференциальных уравнений (2), принимая допущение о том, что марковский случайный процесс является квазистационарным, производится переход к системе уравнений баланса переходов графа рассматриваемой модели для расчёта стационарных вероятностей состояний $(p_{i,j,k})$ случайного марковского процесса:

$$\begin{cases} (\lambda_1 + \lambda_2) p_{i,j,k} = \mu_2 p_{i,j,k+1} + \mu_1 p_{i+1,j,k}, i = 0, j = 0, k = 0; \\ (\lambda_1 + \lambda_2 + j\mu_2) p_{i,j,k} = j\lambda_2 p_{i,j,k-1} + \mu_1 p_{i+1,j,k} + j\mu_2 p_{i+1,j,k}, i = 1, 1 \leq j < R, k = 0; \\ \dots \\ \sum_{k=0}^N \sum_{i=0}^R \sum_{j=0}^{R-i} p_{i,j,k} = 1 \end{cases} \quad (3)$$

Этап 2. Приведение системы уравнений баланса переходов (3) к системе линейных алгебраических уравнений, описывающих граф модели:

$$\begin{cases} (\lambda_1 + \lambda_2) p_{000} = \mu_2 p_{010} + \mu_1 p_{100}; \\ (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2) p_{010} = \lambda_2 p_{000} + \mu_1 p_{110} + 2\mu_2 p_{200}; \\ \dots \\ p_{000} + p_{100} + p_{200} + \dots + p_{R,R,N} = 1 \end{cases} \quad (4)$$

Этап 3. Решение системы линейных алгебраических уравнений (4) для нахождения стационарных вероятностей состояний $(p_{i,j,k})$ рассматриваемой модели:

Вводится вектор: $P = [p_z = p_{ij}, z = \overline{1, Z}]^T \Rightarrow A \times P = B$.

где A – $(Z+1)Z$ -мерная матрица интенсивностей переходов;

P – Z -мерный вектор ненулевых состояний системы массового обслуживания;

B – $(Z+1)$ -мерный вектор правых частей.

Решение матричного уравнения: $P = A' \times B$, где A' – матрица, псевдообратная матрице A , определяемая как $A' = [A^T A]^{-1} A^T$.

Этап 4. На основе полученных стационарных вероятностей состояний $(p_{i,j,k})$, и структуры графа рассматриваемой модели производится расчет вероятности потери пакета (5) и средней длины очереди пакетов трафика (6) высшего и низшего приоритетов, путем вычисления суммы стационарных вероятностей состояний соответствующих областей графа рассматриваемой модели. Далее, используя расчетные соотношения, применяемые в теории телетрафика, производится вычисление среднего времени задержки пакетов трафика соответствующих приоритетов (7)–(9).

Расчет вероятности потери (переполнения буфера адаптивного мультиплексора) пакетов трафика с высоким и низким приоритетами в обслуживании:

$$P_{n1} = \sum_{k=1}^N p_{i,j,k}, \quad i = R, \quad j = 0; \quad P_{n2} = \sum_{k=1}^N \sum_{i=0}^R p_{i,j,k}, \quad j = R - i. \quad (5)$$

Расчет средней длины очереди пакетов трафика в памяти буфера адаптивного мультиплексора с высоким и низким приоритетами в обслуживании:

$$q_1 = \sum_{k=0}^N \sum_{i=K+1}^R (i - K) \sum_{j=0}^{R-i} p_{i,j,k}; \quad q_2 = \sum_{k=0}^N \sum_{l=1}^B l \sum_{i=0}^{i=K+j} \sum_{j=K+l-i} p_{i,j,k}. \quad (6)$$

Расчет среднего времени задержки пакетов трафика с высоким и низким приоритетами в памяти буфера адаптивного мультиплексора до начала передачи:

$$\omega_1 = q_1 / [\lambda_1 (1 - P_{n1})]; \quad \omega_2 = q_2 / [\lambda_2 (1 - P_{n2})]. \quad (7)$$

Расчет среднего времени задержки с высоким и низким приоритетами при обслуживании в канале связи формируемым адаптивным мультиплексором:

$$\tau_1 = 1/\mu_1; \tau_2 = 1/\mu_2. \quad (8)$$

Расчет среднего времени задержки пакетов трафика с высоким и низким приоритетами при обслуживании в адаптивном мультиплексоре:

$$T_{31} = \omega_1 + \tau_1 = q_1/[\lambda_1(1 - P_{п1})] + 1/\mu_1; \quad (9)$$

$$T_{32} = \omega_1 + \tau_2 = q_2/[\lambda_2(1 - P_{п2})] + 1/\mu_2.$$

Использование данной методики по расчету ВВХ мультисервисного трафика на основе разработанных моделей адаптивного мультиплексирования позволяет организовать итерационный процесс по вычислению максимального значения коэффициента мультиплексирования каналов связи, организуемых мультиплексором ЗССС при заданных ограничениях на качество обслуживания мультисервисного трафика ($P_{п} \leq P_{\text{треб}}$, $T_3 \leq T_{\text{треб}}$), который производится методом численного перебора. Тогда выражение (1) примет следующий вид:

$$\rho = \frac{N}{K} \rightarrow \max \begin{cases} P_{п1} \leq P_{\text{треб}1}, P_{п2} \leq P_{\text{треб}2}; \\ T_{31} \leq T_{\text{треб}1}, T_{32} \leq T_{\text{треб}2}. \end{cases} \quad (10)$$

Для автоматизации расчетов данная методика реализована в пакете программ математического моделирования MatLab.

Разработка алгоритмов оперативного управления мультисервисного трафика при организации адаптивного мультиплексирования

Таким образом расчет ВВХ трафика ($P_{п}$, T_3) при его адаптивном мультиплексировании позволяет обоснованно управлять назначением приоритетов в обслуживании в зависимости от статистических характеристик входных потоков (λ_1 , λ_2), требуемого качества обслуживания ($P_{\text{треб}}$, $T_{\text{треб}}$) и пропускной способности спутниковой радиолинии $C(q)$. Для решения данной задачи при организации адаптивного мультиплексирования в КОА ЗССС предложен алгоритм оперативного управления потоками мультисервисного трафика при адаптивном мультиплексировании (рис. 15), который отличается от известных наличием механизма динамического назначения приоритетов при обслуживании мультисервисного трафика. Схема работы алгоритма состоит из нескольких этапов.

Этап 1. Сбор статистических данных о параметрах входных потоков, ранжирование пакетов трафика согласно приоритету в обслуживании и направлении их в буфер адаптивного мультиплексора (блоки алгоритма 4, 5, 7, 11 на рис. 15).

Этап 2. Производится проверка наличия свободного канального ресурса и ячеек памяти буфера адаптивного мультиплексора. Если в буфере мультиплексора имеются пакеты трафика низкого приоритета, то при его переполнении происходит сброс пакета и помещение на обслуживание в буфер пакетов с более высоким приоритетом (блоки алгоритма 12, 13, 14, 16, 18, 19 на рис. 15).

Этап 3. Если в буфере мультимплексора нет пакетов трафика низкого приоритета, то происходит отказ в обслуживании пакетов высшего приоритета, коррекция показателей качества обслуживания, пересчет ВВХ модели адаптивного мультимплексирования трафика мультисервисных сетей с учетом приоритетов в обслуживании (рис. 8) и перераспределение приоритетов в обслуживании до тех пор, пока необходимое качество обслуживания не будет достигнуто (блоки алгоритма 3, 6, 8, 15, 17, 20 на рис. 15).

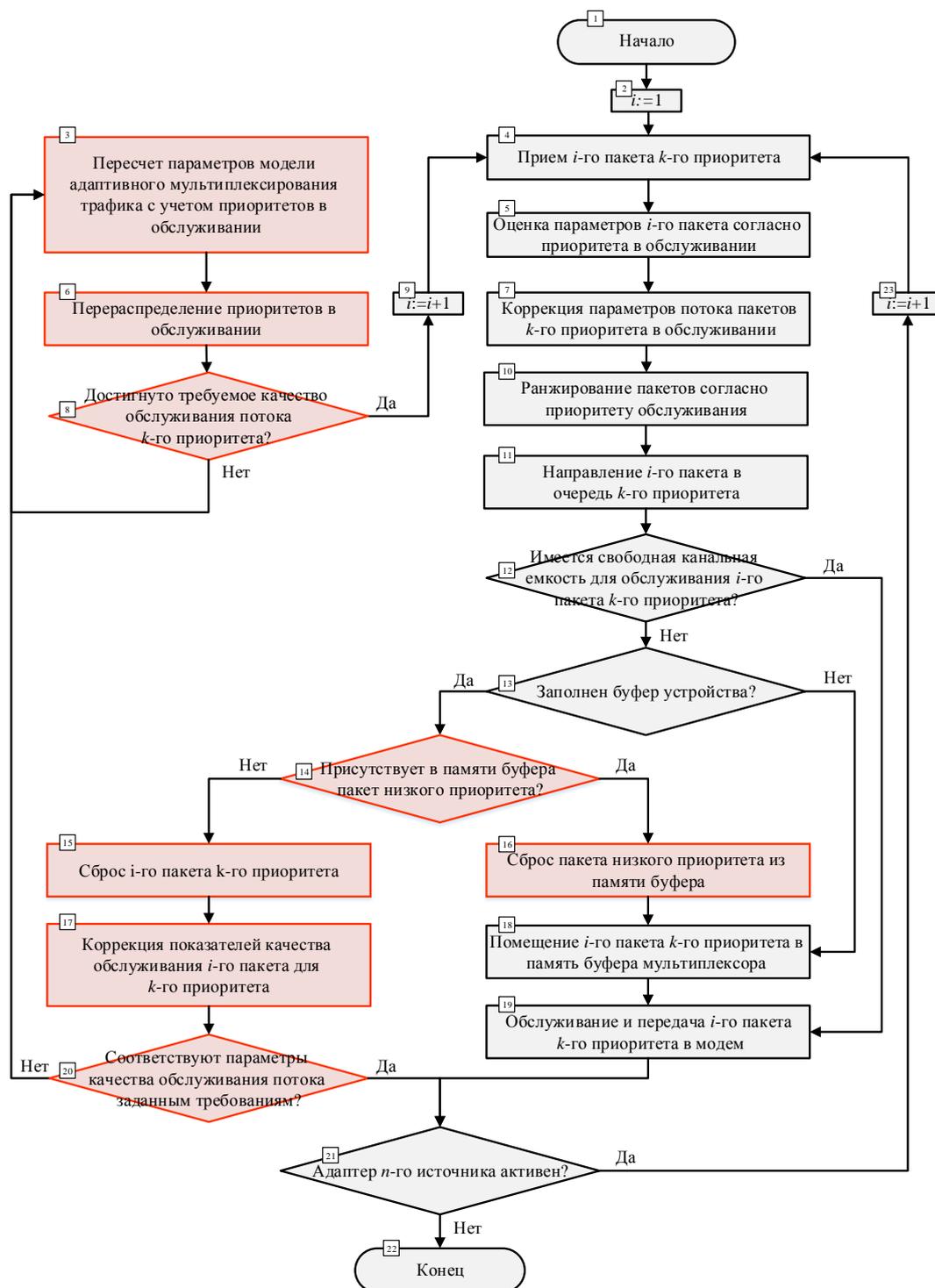


Рис. 15. Алгоритм оперативного управления потоками мультисервисного трафика при адаптивном мультимплексировании с учетом приоритетов в обслуживании

В зависимости от складывающейся помеховой обстановки, в работе предложен альтернативный (более сложный и ресурсоемкий) алгоритм оперативного управления мультисервисного трафика при адаптивном мультиплексировании, представленный на рис. 16.

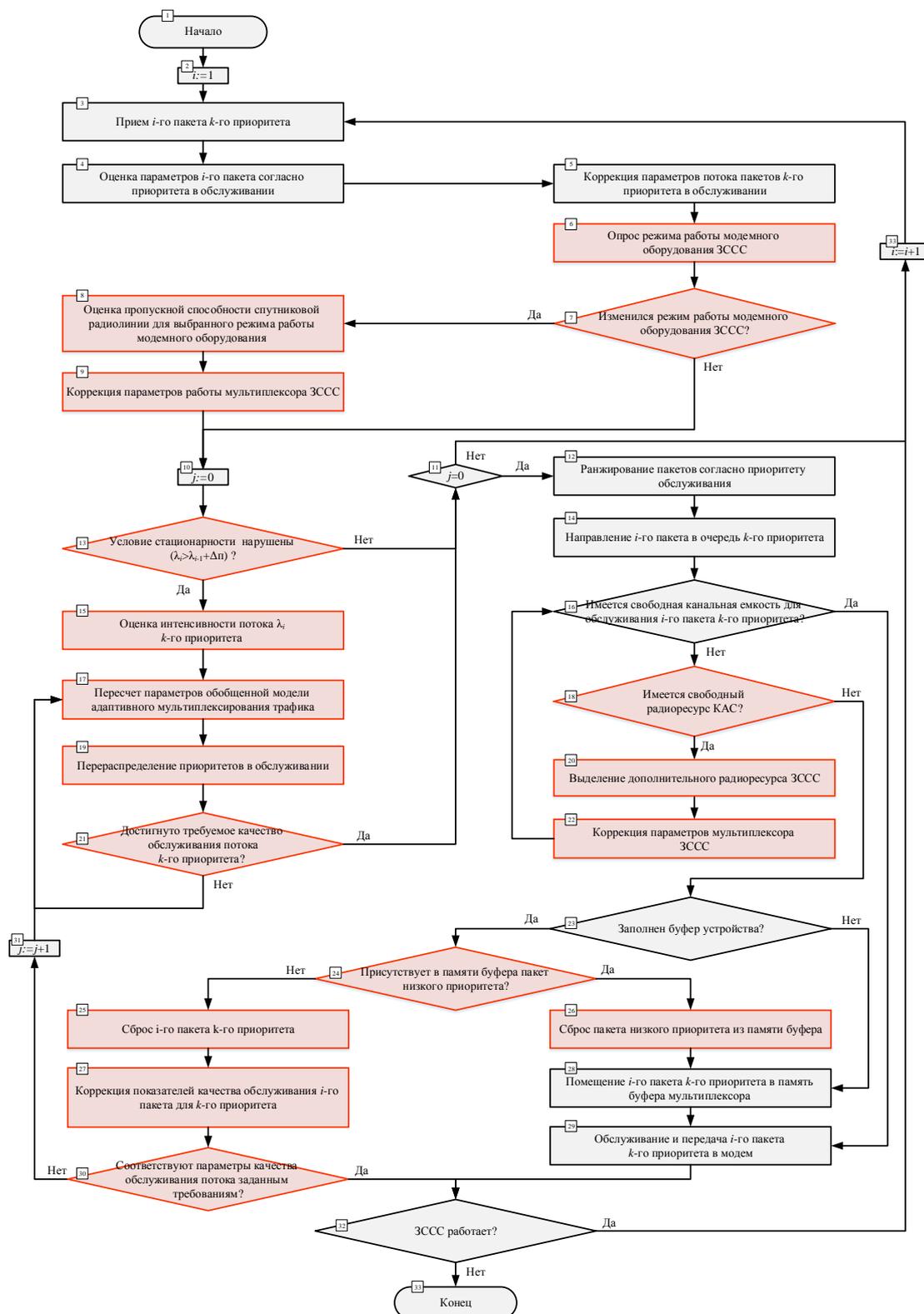


Рис. 16. Алгоритм оперативного управления мультисервисным трафиком с учетом нестационарности и изменения пропускной способности спутниковой радиолинии

Данный алгоритм в комплексе учитывает приоритетность, нестационарности, разнородность входящего мультисервисного трафика и применение в КОА ЗССС различных режимов работы модемного оборудования, в результате чего происходит изменение пропускной способности спутниковой радиолинии. Схема работы данного алгоритма предполагает нескольких этапов.

Этап 1. Сбор статистических данных о параметрах входных потоков, опрос текущей конфигурации модемного оборудования с последующей коррекцией режима работы мультиплексора для учета изменения пропускной способности спутниковой радиолинии (блоки алгоритма №№3-9 на рис. 16).

Этап 2. Проведение оценки ВВХ трафика, включая проверку на нестационарность. Если интенсивность потока не выходит за пределы допустимого, то происходит ранжирование пакетов трафика согласно приоритету в обслуживании и направлении их в буфер адаптивного мультиплексора (блоки алгоритма №№12-14 на рис. 16).

Этап 3. Производится проверка наличия свободного канального ресурса и ячеек памяти буфера адаптивного мультиплексора. Если канального ресурса мультиплексора нет и его буфер переполнен, то выполняется запрос о выделении дополнительного радиоресурса ЗССС, с последующей коррекцией параметров режима работы адаптивного мультиплексора. Если в буфере мультиплексора имеются пакеты трафика низкого приоритета, то при его переполнении происходит сброс пакета и помещение на обслуживание в буфер пакетов с более высоким приоритетом (блоки алгоритма №№16, 18, 20, 22, 23, 24, 28, 29 на рис. 16).

Этап 4. В случае изменения интенсивности потока и выхода за пределы допустимого или если в буфере мультиплексора нет пакетов трафика низкого приоритета, то происходит отказ в обслуживании пакетов высшего приоритета, коррекция показателей качества обслуживания, пересчет ВВХ обобщенной модели адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей (рис 14) и перераспределение приоритетов в обслуживании до тех пор, пока необходимое качество обслуживания не будет достигнуто (блоки алгоритма №№15, 17, 19, 21, 25, 27, 30 на рис. 16).

Исследование вероятностно-временных характеристик мультисервисного трафика при организации адаптивного мультиплексирования

Для оценки возможности реализации адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в КОА ЗССС и соответствия требованиям по качеству обслуживания проведено исследование зависимостей изменения ВВХ мультисервисного трафика при организации адаптивного мультиплексирования, результаты которых изображены на графиках рис. 17-18.

Расчеты проводились в пакете программ математического моделирования MatLab. В качестве исходных данных для моделирования использовались три вида трафика:

1. Трафик IP-телефонии, с использованием GSM-кодека, среднее время кодирования пакета $\tau_k=30$ мс, объемом пакета $V_{п}=60$ байт, со скоростью выделяемых для его обслуживания каналов связи $C=64$ кбит/с.

2. Видеопоток с применением MPEG-2 кодека, среднее время кодирования пакета $\tau_k=30$ мс, объемом пакета $V_{п}=192$ байт, со скоростью выделяемых для его обслуживания каналов связи $C=2$ Мбит/с.

3. IP-трафик передачи данных, среднее время кодирования пакета $\tau_k=30$ мс, объемом пакета $V_{п}=1,5$ Кбайт, со скоростью выделяемых для его обслуживания каналов связи $C=1$ Мбит/с.

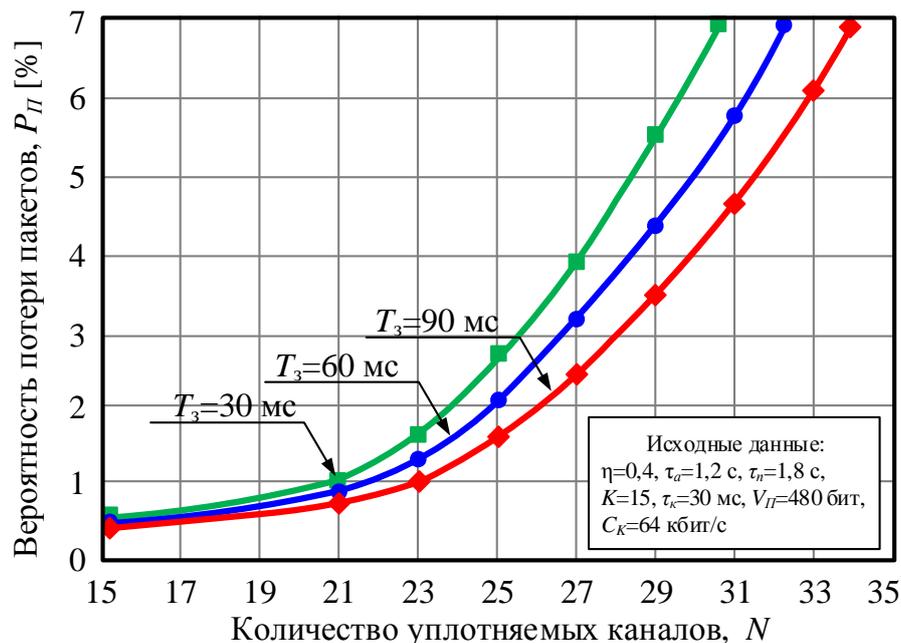


Рис. 17. Зависимость вероятности потери пакетов ($P_{п}$) от количества каналов (N) для различных значений допустимой задержки (T_3)

Анализ графиков, изображенных на рис. 17 показал, что вероятность потери пакетов ($P_{п}$) при адаптивном мультиплексировании мультисервисного трафика возрастает при увеличении количества организованных виртуальных каналов связи (N) и уменьшается при увеличении времени задержки (T_3) при обслуживании пакетов. Вероятность потери пакетов ($P_{п}$) и задержка сообщений (T_3) увеличиваются при повышении коэффициента активности источника трафика (η), что показано на графиках рис. 18.

Исходя из полученных данных возможно сделать вывод, что организация адаптивного мультиплексирования потребует нахождения оптимальных значений количества виртуальных каналов (N), емкости буфера мультиплексора (B) для заданных значений пропускной способности спутниковой радиолинии $C(q)$ и требований, предъявляемым к качеству обслуживания трафика ($P_{\text{треб}}$, $T_{\text{треб}}$).

Для оценки эффективности применения адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в КОА ЗССС и соответствия требованиям по качеству обслуживания проведено исследование

зависимостей изменения коэффициента мультиплексирования (ρ) от различных параметров мультиплексирования и свойств источников трафика (рис. 19–20).

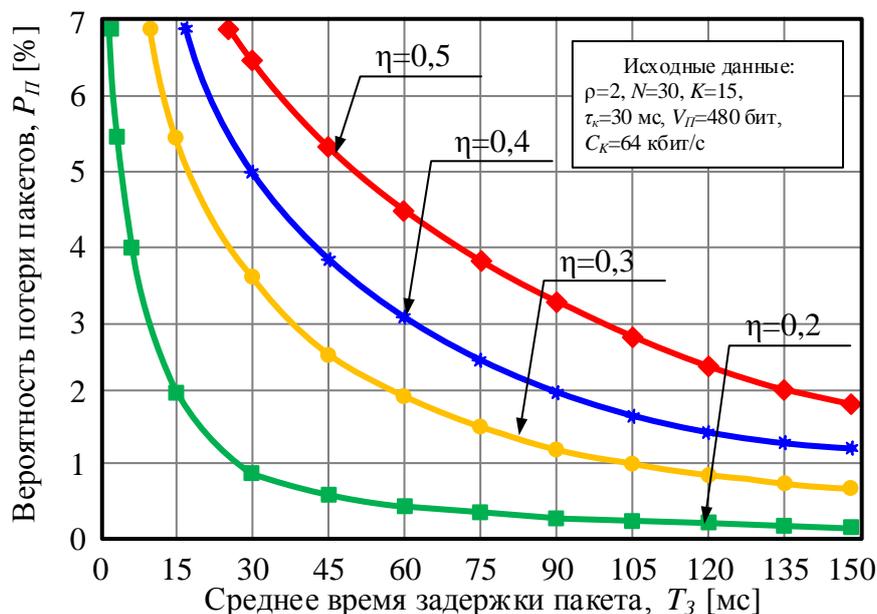


Рис. 18. Зависимость вероятности потери пакетов ($P_{л}$) от задержки (T_3) при различной активности источников трафика (η)

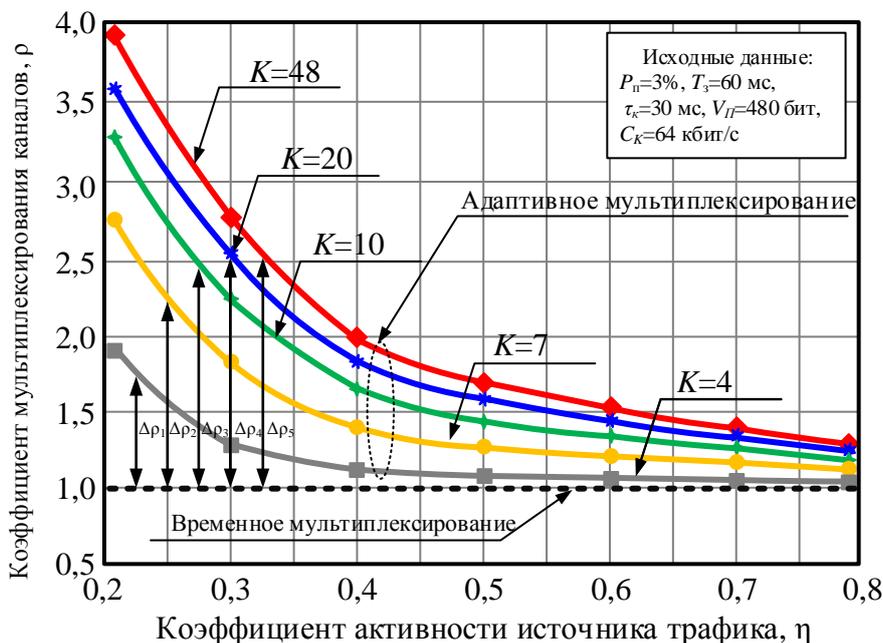


Рис. 19. Зависимость коэффициента мультиплексирования от активности источников трафика при изменении канальной емкости мультиплексора

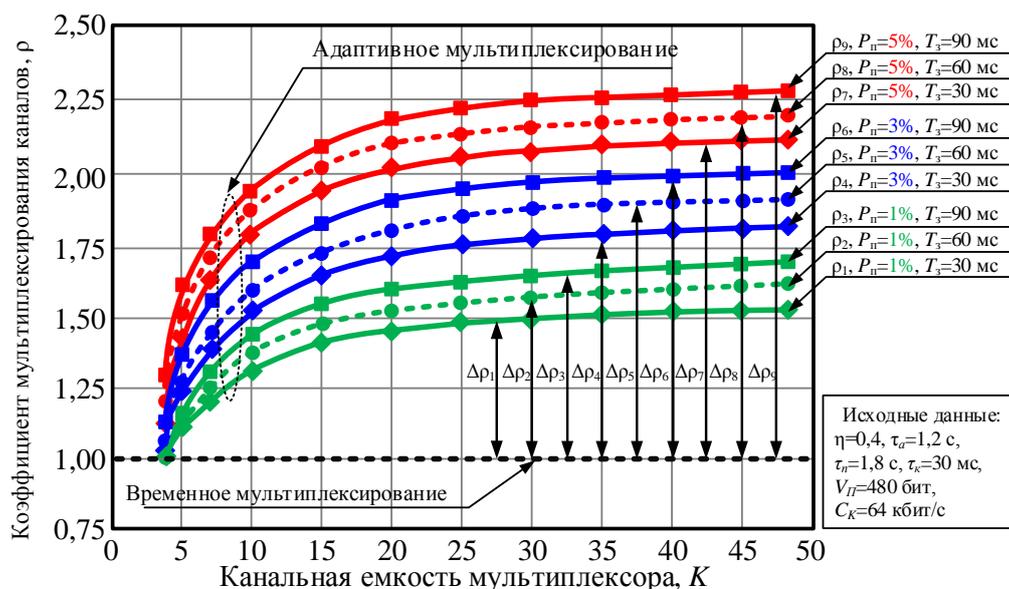
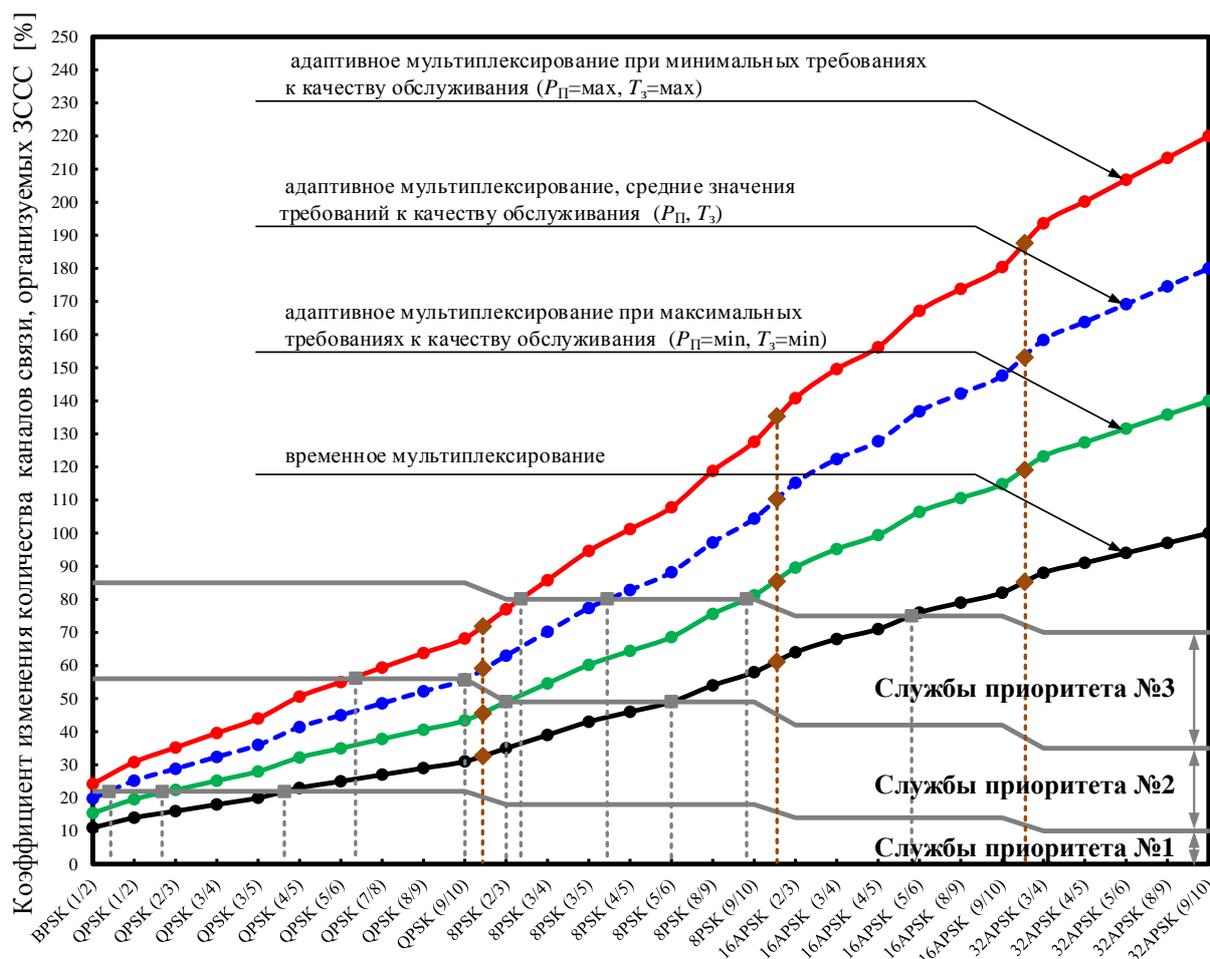


Рис. 20. Зависимость коэффициента мультиплексирования от канальной емкости мультиплексора при различных требованиях к качеству обслуживания



Множество режимов работы модемного оборудования земной станции ЕССС-3

Рис. 21. График изменения коэффициента количества каналов связи, организуемых ЗССС от применения различных конфигураций модемного оборудования

Коэффициент мультиплексирования каналов связи (ρ) организуемых мультиплексором ЗССС повышается с ростом его канальной емкости (K) и понижением активности источников трафика (η). Чем выше требования к качеству обслуживания ($P_{\text{треб}}$, $T_{\text{треб}}$), тем меньше коэффициент мультиплексирования (ρ) соответственно меньше прирост пропускной способности спутниковой радиолинии (ΔC).

Обобщая полученные зависимости, можно оценить достигаемый выигрыш в числе каналов ($\Delta\rho K$), организуемых ЗССС на основе предложенной технологии адаптивного мультиплексирования по сравнению с традиционной технологией мультиплексирования в различных условиях помеховой обстановки (рис. 21).

Технические рекомендации по организации адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в каналообразующей аппаратуре ЗССС

На основе множества полученных моделей (M_{AM}) и алгоритмов ($A_{OУ}$) сформированы технические рекомендации, направленные на совершенствование специального программно-математического обеспечения (СПМО) мультиплексора в целях организации адаптивного мультиплексирования трафика в КОА ЗССС. Данные рекомендации позволят оперативно управлять назначением приоритетов при адаптивном мультиплексировании трафика мультисервисных сетей и существенно повысить пропускную способность ЗССС. На основе СПМО мультиплексора ЗССС реализован механизм диспетчеризации мультисервисного трафика (рис. 22), который предназначен для организации оперативного управления трафиком, поступающим от разнородных источников (абонентов сети), контроля за выполнением требований к качеству обслуживания для заданного вида трафика и наличием канального ресурса мультиплексора. Данный механизм по аналогии используется для управления трафиком в сетях построенных на основе технологии АТМ [24, 25].

В рамках проводимых исследований разработан макет СПМО мультиплексора, которое должно быть интегрировано в состав автоматизированной системы управления ЗССС. СПМО мультиплексора, структура которого представлена на рис. 23, состоит из операционной системы мультиплексора с поддержкой приоритетного многозадачного планирования в масштабах реального времени, драйверов оборудования и клиентского приложения для управления мультиплексором и оперативного управления трафика.

Примеры интерфейсов основных модулей СПМО мультиплексора приведены на рис. 24–27. Представленные модули позволяют оператору ЗССС проводить комплекс операций по сбору статистики действующих каналов связи, оценки качества обслуживания, назначения приоритетов и администрирования абонентов.

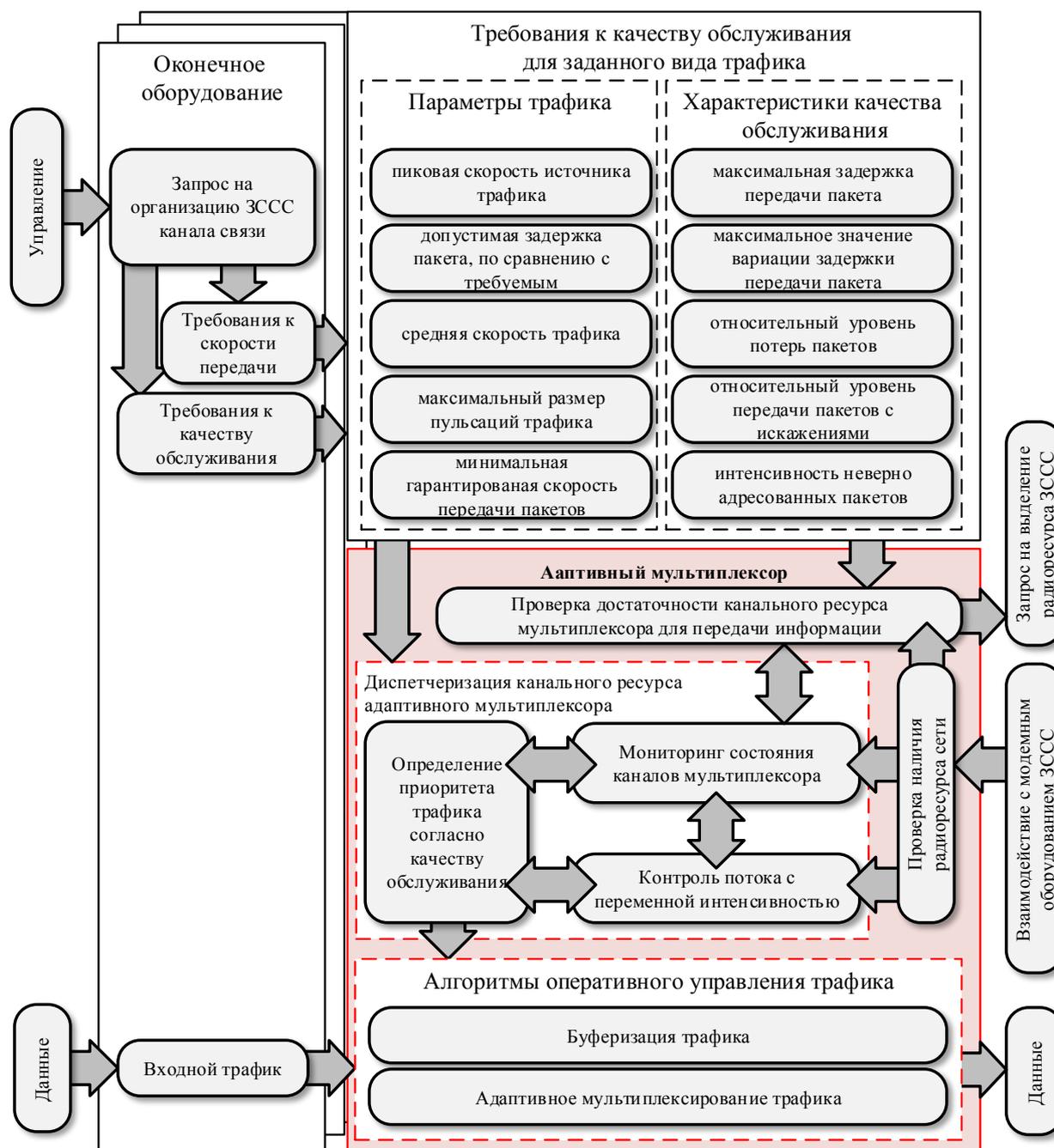


Рис. 22. Механизм диспетчеризации мультисервисного трафика, реализуемого в СПМО адаптивного мультиплексора ЗССС

Модуль оперативного управления потоков СПМО позволяет оператору ЗССС проводить управление информационными потоками путем назначения приоритетов в обслуживании в ручном и автоматическом режиме работы.

Модуль сбора статистики портов СПМО позволяет оператору ЗССС проводить статистическую оценку загрузки портов мультиплексора для определения качества обслуживания абонентов военных сетей спутниковой связи.

Модуль мониторинга потоков СПМО позволяет оператору ЗССС проводить наблюдение загрузки портов статистического мультиплексора для оперативной оценки нагрузки каналов связи в различных условиях помеховой обстановки.

Модуль действующих каналов связи СПМО позволяет оператору ЗССС проводить администрирование подключенных каналов связи, а также устанавливать необходимый коэффициент уплотнения статистического мультиплексора.



Рис. 23. Структура СПМО адаптивного мультиплексора ЗССС

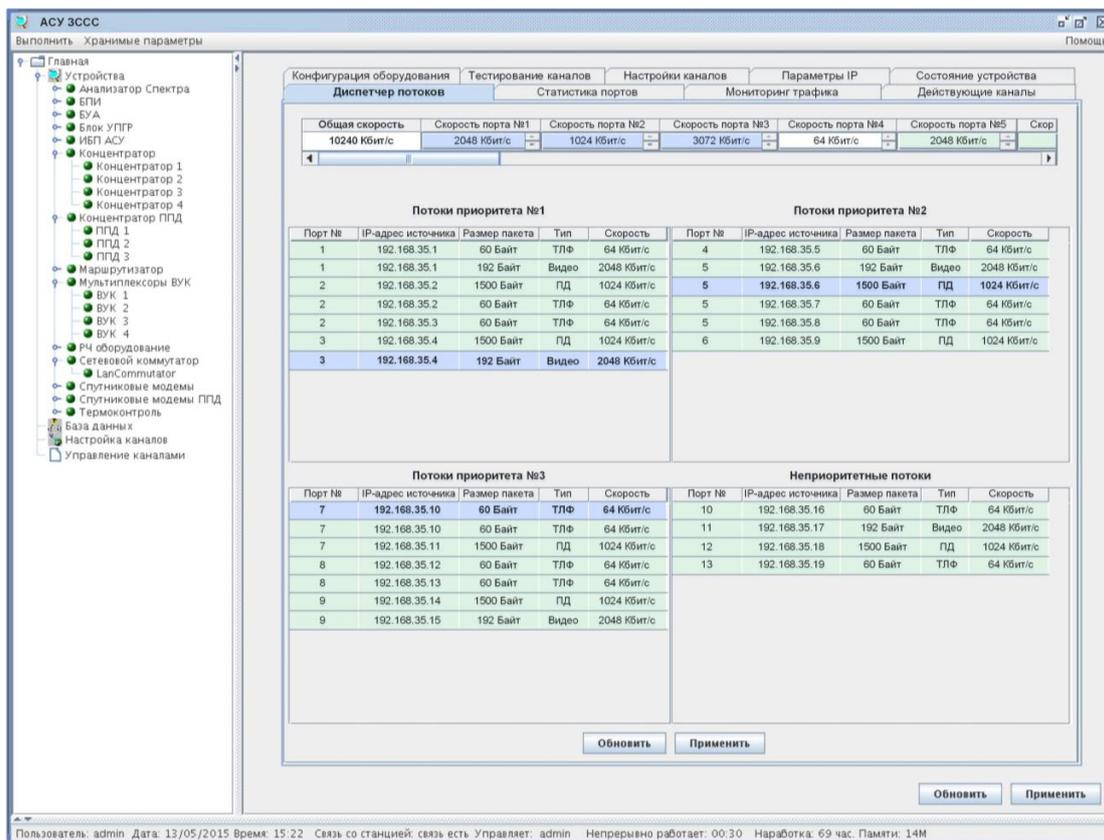


Рис. 24. Интерфейс модуля оперативного управления потоков СПМО адаптивного мультиплексора ЗССС

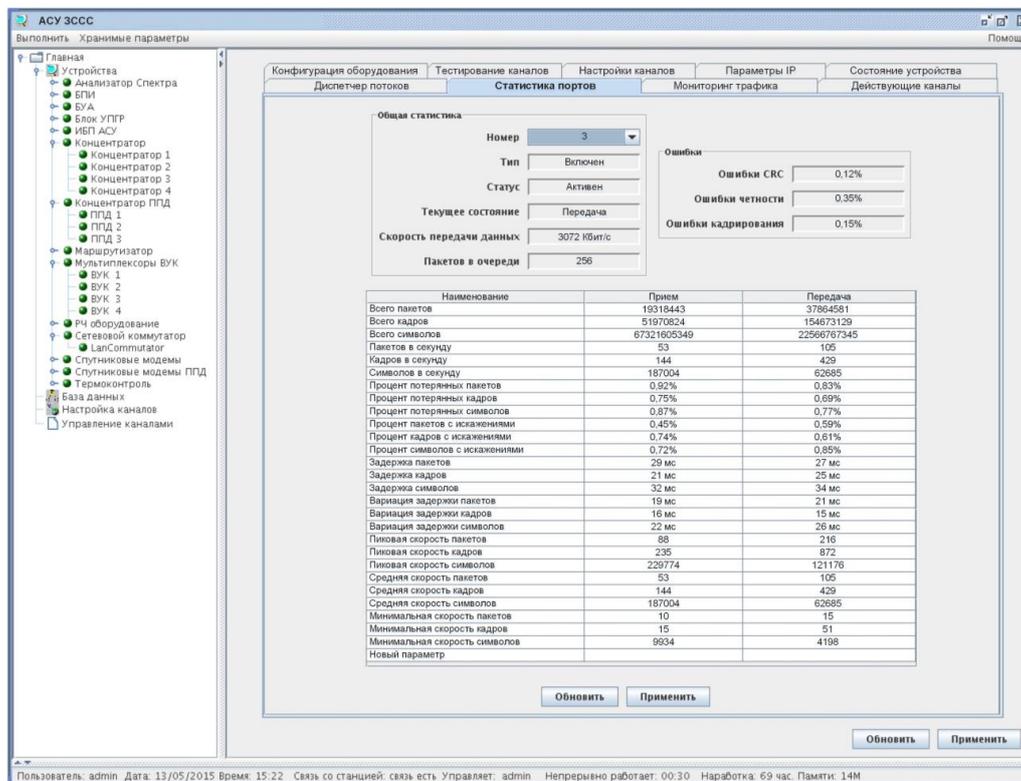


Рис. 25. Интерфейс модуля сбора статистики портов СПМО адаптивного мультиплексора ЗССС

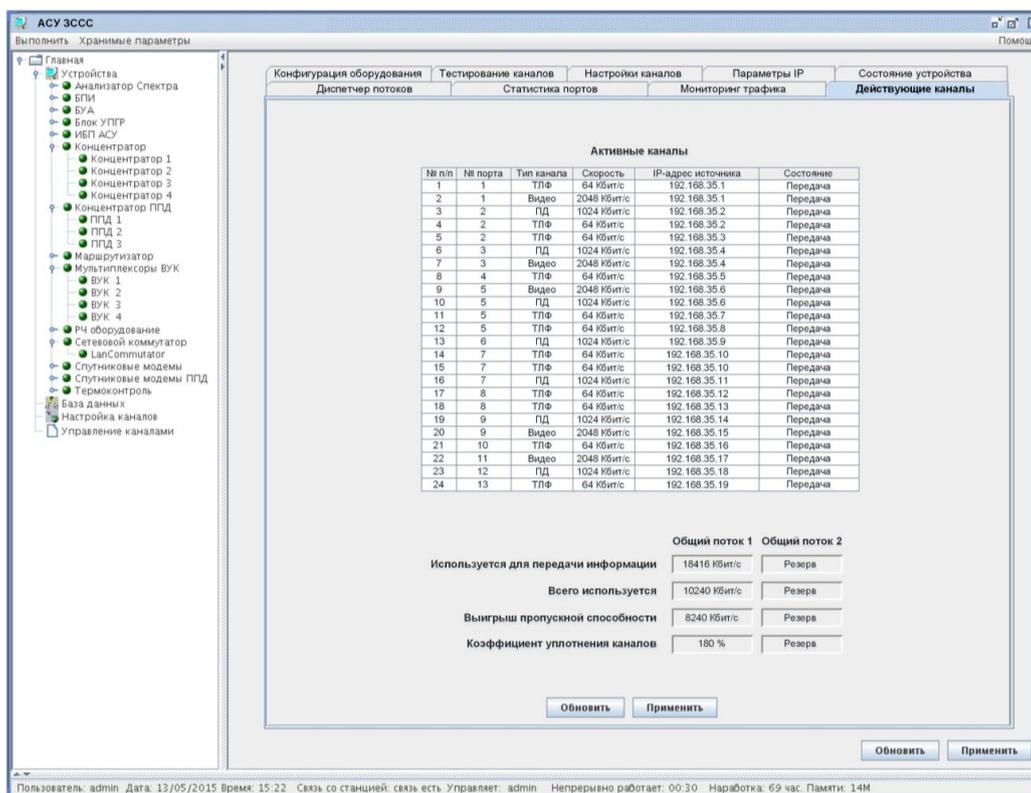


Рис. 26. Интерфейс модуля мониторинга потоков СПМО адаптивного мультиплексора ЗССС

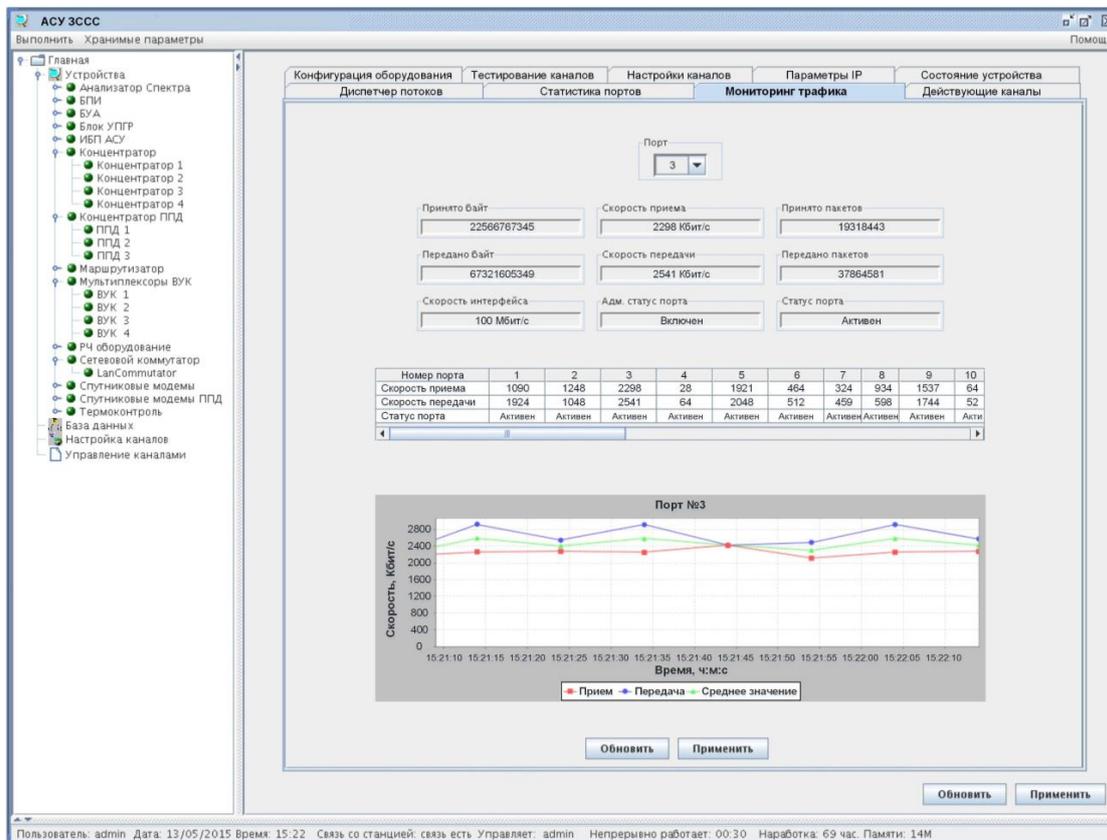


Рис. 27. Интерфейс модуля действующих каналов связи СПМО адаптивного мультиплексора ЗССС

Анализ основных свойств разработанных алгоритмов, в частности вычислительной сложности, показал целесообразность применения данных алгоритмов в составе СПМО нового парка ЗССС. Для парка ЗССС предыдущих поколений рекомендовано произвести модернизацию оборудования мультиплексора (рис. 28). Основные рассматриваемые пути модернизации – повышение производительности центрального процессора и емкости оперативной памяти мультиплексора ЗССС. Величина повышения эффективности в этом случае будет зависеть от технических характеристик КОА ЗССС.

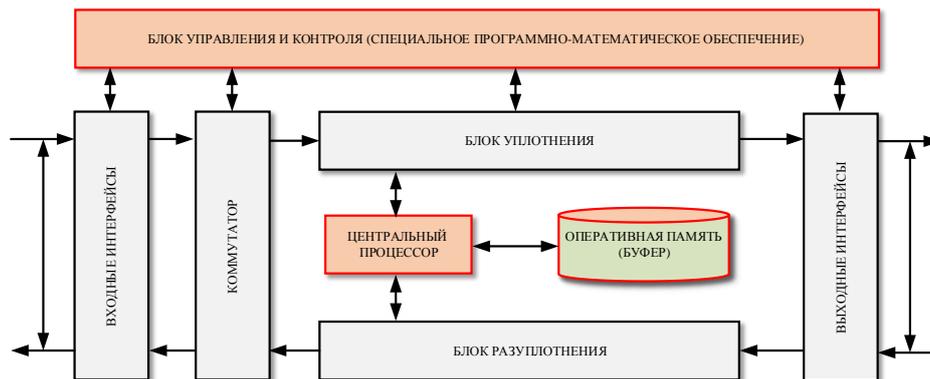


Рис. 28. Структурная схема адаптивного мультиплексора

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование технологии адаптивного мультиплексирования в сочетании с механизмом динамического назначения приоритетов в обслуживании мультисервисного трафика, при организации связи ЗССС, позволяют заметно увеличить число виртуальных каналов связи по сравнению с традиционной технологией мультиплексирования, что соответствует повышению пропускной способности ЗССС. При этом стоит отметить, что повышение пропускной способности будет зависеть от требований, предъявляемых к качеству обслуживания, структуры передаваемого трафика, а также выбора режима работы модемного оборудования. Так, при наиболее жестких требованиях к качеству обслуживания выигрыш составит до 40%, без требований (предельно достижимые значения) до 120%, что в среднем составляет порядка 80%.

Работа выполнена в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского в рамках проводимых автором диссертационных исследований на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автор выражает благодарность за помощь в организации и проведении исследований кандидату технических наук доценту Е.Н. Косякову, а также признательность кандидату технических наук доценту С.И. Макаренко за методические рекомендации и помощь в оформлении работы.

Литература

1. Михайлов Р. Л., Макаренко С. И. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на неё дестабилизирующих факторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. № 4. 2013. С. 69-79.
2. Макаренко С. И. Адаптивное управление скоростями логических соединений в канале радиосвязи множественного доступа // Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 54-58.
3. Новиков Е. А. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении. Информационно-управляющие системы. 2014. Т. 2. № 69. С. 79-86.
4. Новиков Е. А. Оценка пропускной способности спутника-ретранслятора при резервировании радиоресурса с упреждением. Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. Т. 3. № 15. С. 62-69.
5. Зиннуров С. Х., Ковальский А. А., Кузичкин А. В. Динамическое распределение радиоресурса ретранслятора с учетом неоднородности трафика и запаздывания при управлении // Известия института инженерной физики. 2014. Т. 4. № 34. С. 51-56.
6. Кузичкин А. В., Зиннуров С. Х., Ковальский А. А. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Инженерная физика. 2015. №6. С. 49-57.
7. Топорков И. С., Ковальский А. А., Зиннуров С. Х. Модель и алгоритм управления процессом резервирования ресурса сети спутниковой связи при обслуживании мультисервисного нестационарного трафика // Известия института инженерной физики. 2016. Т. 1. № 39. С.37-47.
8. Шелухин О. И., Тенякшев А. М., Осин А. В. Моделирование информационных систем. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.
9. ETSI EN 302 307. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation system for Broadcasting Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications.
10. ETSI EN 300 421. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services.
11. ETSI EN 301 210. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for Digital Satellite News Gathering (DSNG) and other contribution applications by satellite.
12. ETSI TR 102 376 v. 1.1.1 (2005–02). Digital Video Broadcasting (DVB); User guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB–S2).
13. ETSI EN 300 744. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.
14. Стандарт DVB–S2. Система цифрового ТВ вещания. // Контур–М [Электронный ресурс]. – URL: www.konturm.ru/tech.php?id=dvbs2 (дата обращения 20 марта 2017).

15. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л., Новиков Е. А. Исследование канальных и сетевых параметров канала связи в условиях динамически изменяющейся сигнально-помеховой обстановки // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 10. С. 2.

16. Макаренко С. И. Методика оценки времени задержки пакета в канале связи в условиях нестабильности входного трафика // Инфокоммуникационные технологии. 2007. Т. 5. № 3. С. 95-96.

17. Макаренко С. И., Сидорчук В. П., Краснокутский А. В. Методика оценки времени задержки пакета в сети воздушной радио связи в условиях нестабильности входного трафика // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 6. С. 70-74.

18. Кихтенко А. В., Макаренко С. И. Методика оценки времени задержки пакета в спутниковой сети связи в условиях нестабильности входного трафика // Системы управления и информационные технологии. 2007. Т. 27. № 1.3. С. 344-348.

19. Adas A. Traffic models in broadband networks // IEEE Communication magazine. 1997. vol. 35. no. 7. pp. 82-89.

20. Muscariello L. Markov models of internet traffic and a new hierarchical MMPP model // Computer communications. 2005. vol. 28. no. 16. pp. 1835-1851.

21. Макаренко С. И., Коровин В. М., Ушанев К. В. Оператор преобразования трафика для преднамеренного повышения структурной сложности информационных потоков // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 4. С. 77-109.

22. Макаренко С. И. Преднамеренное формирование информационного потока сложной структуры за счет внедрения в систему связи дополнительного имитационного трафика // Вопросы кибербезопасности. 2014. № 3 (4). С. 7-13.

23. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. Пер. с англ. / Под ред. Б. С. Цыбакова. М.: Мир, 1979. – 600 с.

24. Макаренко С. И., Бородинов Р. В. Анализ технологий обеспечения качества обслуживания в мультисервисных АТМ сетях // Информационные технологии моделирования и управления. 2012. Т. 1. № 73. С. 65-79.

25. Новиков Е. А., Макаренко С. И. Оперативное управление ресурсом АТМ-коммутатора при обеспечении заданного качества обслуживания нестационарных информационных потоков. Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. Т. 1. № 9. С. 43-52.

Reference

1. Mikhailov R. L., Makarenko S. I. Estimating Communication Network Stability under the Conditions of Destabilizing Factors Affecting it. *Radio and telecommunication systems*, 2013, no. 4, pp. 69-79 (in Russian).

2. Makarenko S. I. Adaptive control by speeds of logical connections in the channel of a radio communication of multiple access. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2008, no. 6, pp. 54-58 (in Russian).

3. Novikov E. A. Operational distribution of a radio resource of the relay station satellite at a non-stationary input flow of messages taking into account delay

in management. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2014, vol. 2, no. 69, pp. 79-86 (in Russian).

4. Novikov E. A. Assessment of bandwidth of the relay station satellite at reservation of a radio resource with anticipation. *Radio engineering and telecommunication systems*, 2014, vol. 3, no. 15, pp.62-69 (in Russian).

5. Zinnurov S. Kh., Kovalsky A. A., Kuzichkin A. V. Runtime allocation of a radio resource of a repeater taking into account heterogeneity of a traffic and delay at management. *Izvestiya Instituta inzhenernoy fiziki*, 2014, vol. 4, no. 34, pp. 51-56 (in Russian).

6. Kuzichkin A. V., Zinnurov S. Kh., Kovalsky A. A. Operational distribution of a radio resource of the relay station satellite at a non-stationary input flow of messages taking into account delay in management. *Inzhenernaya fizika*, 2015, no. 6, pp. 49-57 (in Russian).

7. Toporkov I. S., Kovalsky A. A., Zinnurov S. Kh. Model and the control algorithm process of reservation of a resource of a communication satellite network at service of a multiservice non-stationary traffic. *Izvestiya Instituta inzhenernoy fiziki*, 2016, vol. 1, no. 39, pp. 37-47 (in Russian).

8. Shelukhin O. I., Teniakshev A. M., Osin A. V. *Modelirovanie informatsionnykh sistem* [Modeling of information systems]. Moscow, Radio engineering Publ, 2005. 368 p. (in Russian).

9. ETSI EN 302 307. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation system for Broadcasting Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications.

10. ETSI EN 300 421. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services.

11. ETSI EN 301 210. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for Digital Satellite News Gathering (DSNG) and other contribution applications by satellite.

12. ETSI TR 102 376 v. 1.1.1 (2005-02). Digital Video Broadcasting (DVB); User guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2).

13. ETSI EN 300 744. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.

14. DVB-S2 standard. System of digital TV broadcasting. *Kontur-M* [Electronic resource]. Available at: www.konturm.ru/tech.php?id=dvbs2 (accessed 3 Mach 2017)

15. Makarenko S. I., Mikhailov R. L., Novikov E. A. The research of data link layer and network layer parameters of communication channel in the conditons of dynamic vary of the signal and noise situation. *Journal of radio electronics*, 2014, no. 10. p. 2. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/oct14/3/text.pdf> (accessed 03 Mach 2017) (in Russian).

16. Makarenko S. I. Technique of an estimation of time of a delay of a package in the channel of communication. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2007. vol. 5. no. 3. pp. 95-96 (in Russian).

17. Makarenko S. I., Sidorchuk V. P., Krasnokutsky A. V. Metodika otsenki vremeni zaderzhki paketa v seti vozdushnoi radio svyazi v usloviakh nestabil'nosti vkhodnogo trafika [Methodika of a packet delay time estimate in network air radio of communication in the conditions of instability of an input traffic]. *Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy*, 2007, vol. 10, no. 6, pp. 70-74 (in Russian).

18. Kikhtenko A. V., Makarenko S. I. Metodika otsenki vremeni zaderzhki paketa v sputnikovoi seti svyazi v usloviakh nestabil'nosti vkhodnogo trafika [Packet delay time estimate technique in a satellite communication network in the conditions of instability of an input traffic]. *Sistemy upravleniia i informatsionnye tekhnologii*, 2007, vol. 27, no. 1.3, pp. 344-348 (in Russian).

19. Adas A. Traffic models in broadband networks. *IEEE Communication magazine*, 1997, vol. 35, no. 7, pp. 82-89.

20. Muscariello L. Markov models of internet traffic and a new hierarchical MMPP model. *Computer communications*, 2005, vol. 28, no. 16, pp. 1835-1851.

21. Makarenko S. I., Korovin V. M., Ushanev K. V. The Traffic Transformation Operator for Deliberate Increase of the Structural Complexity of the Information Stream. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 4, pp. 77-109. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-04/04-Makarenko.pdf> (in Russian).

22. Makarenko S. I. Premeditated formation of the traffic of difficult structure due to implementation in the communication system of additional imitative traffic. *Voprosy kiberbezopasnosti*, 2014, vol. 4, no. 3, pp. 7-13 (in Russian).

23. Kleinrock L. *Queueing Systems: Volume II – Computer Applications*. New York: Wiley Interscience, 1975, 576 p.

24. Makarenko S. I., Borodinov R. V. Analiz tekhnologii obespecheniia kachestva obsluzhivaniia v mul'tiservisnykh ATM setiakh [The analysis of technologies of quality assurance of service in multiservice ATM networks]. *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniia i upravleniia*, 2012, vol. 73, no. 1, pp. 65-79 (in Russian).

25. Novikov E. A., Makarenko S. I. Operational management of a resource of ATM switch when ensuring the set service quality of non-stationary information flows. *Radio and telecommunication systems*, 2013, vol. 9, no. 1, pp. 43-52 (in Russian).

Статья поступила 31 марта 2017 г.

Информация об авторе

Ковальский Александр Александрович – кандидат технических наук. Старший научный сотрудник военного института (научно-исследовательского). Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: инфокоммуникационные системы. E-mail: sake636@mail.ru

Адрес: 197198, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13.

The Organization of Adaptive Multiplexing of a Traffic of Multiservice Networks in the Channeling Equipment of Land Satellite Communication System with Taking into Account the Changing Jamming Situation

A. A. Kovalsky

Relevance. The increasing volumes of the transmitted data at high quality requirements of service and limitation of a radio resource of the spacecraft of communication do urgent questions of ensuring high bandwidth of land satellite communication system in the conditions of dynamically changing jamming situation. At implementation of the existing technologies of multiplexing of a traffic in the channeling equipment of land satellite communication system selection of a radio resource happens under peak values of intensity of information flows, without its statistical characteristics that is expressed in underexploitation of a radio resource at its general deficit. **The paper purpose** is consists in capacity growth of land satellite communication system in the conditions of an jamming situation. For achievement of the goal it is offered to use technology of adaptive multiplexing of a traffic which will consider its statistical characteristics, in different conditions of an jamming situation. It will allow to increase bandwidth of land satellite communication system and to fulfill quality requirements of service of a multiservice traffic. **The used methods.** The solution of a task of the organization of operational management of a multiservice traffic at adaptive multiplexing in the channeling equipment of land satellite communication system is based on use of Markov models of the modulated Poisson process and algorithms applied in the teletraffic theory taking into account specifics of functioning of communication satellite networks. For a research of the developed models the calculation procedure realized in the software package of mathematical modeling of MatLab is used. **Novelty.** Elements of scientific novelty of work are the accounting of a number of factors: properties of the arriving multiservice traffic, such, as, not stationarity, heterogeneity, priority in service, fulfillment of requirements on service quality and existence of the different modes of functioning of satellite radio lines which depend on conditions of an jamming situation. **Result.** Use of technology of adaptive multiplexing in combination with the mechanism of dynamic purpose of priorities in service of a multiservice traffic allows to increase considerably number of communication links in comparison with the existing technology that corresponds to capacity growth of land satellite communication system or ensuring required bandwidth in the conditions of an jamming situation. At the same time it is worth canceling that capacity growth will depend on requirements imposed to service quality, a type of the transferred traffic, and also the choice of an operation mode of the modem equipment. So, at the most strict requirements to service quality the prize will make up to 40%, at less tough (an unlimited admissible delay) extremely achievable values will make up to 120% that averages about 80%. **Practical significance.** The submitted decision is offered to be realized in the form of special program software of the channeling equipment on the basis of a program and modular platform which has to be integrated into structure of an automated control system of the terrestrial station of satellite communication. Implementation on the basis of a program and modular platform will allow to exercise on the basis of the analysis of statistical properties of a multiservice traffic its operational management at adaptive multiplexing in the conditions of the changing jamming situation, by assignment to information flows of priorities in service.

Keywords: adaptive multiplexing, operational management, multiservice traffic land satellite communication system, jamming situation.

Information about Author

Aleksander Aleksandrovich Kovalsky – Ph.D. of Engineering Science. Senior researcher of military institute. Mozhaysky Military Space Academy. Field of research: infocommunication systems. E-mail: sake636@mail.ru

Address: Russia, 197198, Saint Petersburg, Zhdanovskaya St., 13.

Журнал «Системы управления, связи и безопасности» является научным рецензируемым периодическим электронным изданием. Цель журнала – максимально полное, оперативное и открытое информирование научной общественности об основных результатах научно-исследовательских работ в области теории управления, теории связи, теории безопасности, а также о новых тенденциях развития технологий соответствующих прикладных областей.

Периодичность выхода журнала – четыре номера в год.

Журнал «Системы управления, связи и безопасности» публикует только статьи, которые соответствуют основным тематическим разделам журнала:

1. Анализ новых технологий и перспектив развития систем управления, связи и безопасности.
2. Системы управления.
3. Интеллектуальные информационные системы.
4. Робототехнические системы.
5. Вычислительные системы.
6. Информационные процессы и технологии. Сбор, хранение и обработка информации.
7. Информационная безопасность.
8. Передача, прием и обработка сигналов. Радиоэлектронный мониторинг.
9. Системы связи и телекоммуникации.
10. Системы обеспечения безопасности.
11. Моделирование сложных организационно-технических систем.
12. Объекты интеллектуальной собственности и инновационные технологии в области управления, связи и безопасности.

Публикация в журнале является научным печатным трудом.

Журнал доступен по адресу <http://sccs.intelgr.com>.

Архив выпусков журнала доступен по адресу <http://sccs.intelgr.com/arch.html>.

Правила для авторов

Материалы, представляемые в редакцию

1. Файл со статьей, оформленной по требованиям журнала.
2. Сканированную копию экспертного заключения об отсутствии в статье материалов, запрещенных к открытому опубликованию.
3. Авторы могут подготовить краткое сообщение рецензенту, дополнительно поясняющее отдельные элементы работы, их суть и новизну, рамки исследования, связь своей работы с имеющимися публикациями в предметной области. Данное сообщение необязательно, но, при его наличии, оно будет передано рецензенту вместе со статьей.

Порядок рецензирования и принятия статьи к публикации

1. Авторский коллектив представляет в редакцию статью и сопроводительные материалы на адрес sccs@intelgr.com.
2. Редакция осуществляет проверку материалов на предмет соответствия требованиям к оформлению и представлению результатов. При необходимости технической правки статьи авторы уведомляются об этом.
3. Если замечаний по оформлению статьи нет, она проверяется в сервисах, выявляющих плагиат, и с результатами проверки передается на рецензирование. Редакция уведомляет авторов о передаче статьи на рецензирование.
4. Порядок проверки на плагиат и выбор сервиса для проверки определяется редакцией самостоятельно. Для проверки на плагиат редакцией используются Интернет-сервисы Антиплагиат, ТЕХТ, Content-watch, а также программы Etxt и Advego Plagiatus.
5. В случае положительного решения рецензентов о возможности публикации статьи авторы уведомляются об этом. В случае несовпадения мнений рецензентов о возможности публикации статьи, она передается на повторное рецензирование или рассматривается редакционной коллегией журнала, о чем уведомляется авторский коллектив. В случае решения рецензентов или редакционной коллегии журнала о невозможности публикации статьи авторы получают мотивированный отказ.
6. По решению рецензентов или редакционной коллегии статья может быть принята к публикации, но с доработками. В этом случае авторы должны в короткий срок переработать статью в соответствии с замечаниями рецензентов, либо дать мотивированный ответ по замечаниям. Если доработка статьи потребует значительного времени, авторы должны уведомить об этом редакцию.
7. После принятия статьи к публикации, авторы оплачивают редакционные расходы, связанные с публикацией статьи.
8. После оплаты редакционных расходов статья размещается в очередном номере журнала на сайте издательства. Авторы уведомляются о публикации их статьи по электронной почте.
9. После формирования очередного номера журнала данные об опубликованных в нем статьях в течение трех месяцев передаются в наукометрические базы учета научных публикаций.

Требования к оформлению статей, представляемых в редакцию

Пример оформления статьи доступен по адресу

<http://sccs.intelgr.com/download/article.doc>

1. Статья представляется в формате Word 97/2000/XP с расширением **doc**.
2. Рекомендуемый объем статьи – **до 50 страниц**. Объем может быть увеличен, если этого требует логика изложения материала.
3. Размер страницы – А4. Все поля (верхнее, нижнее, правое и левое) по 2 см.
4. Текст статьи набирается шрифтом Times New Roman, размер шрифта 14 pt, одинарный междустрочный интервал, абзацный отступ 1,25 см, отступы между абзацами отсутствуют. В основном тексте допускаются выделения курсивом. Латинские буквы для обозначения переменных набираются курсивом; греческие, русские буквы, функции – прямым шрифтом. Цифровые индексы в обозначениях набираются прямым шрифтом.
5. Статья должна начинаться с индекса УДК, выровненного по левому краю. После индекса УДК следует пропуск строки.
6. Название статьи должно точно и однозначно характеризовать содержание статьи. Название статьи – полужирным шрифтом, выравнивание по центру без абзацного отступа. **Название писать строчными (маленькими) буквами**, используя заглавные буквы только там, где это необходимо (в начале первого слова, в названиях, именах собственных, сокращениях и т.п.). Не рекомендуется использовать в названии сокращения, кроме общепринятых в соответствующей предметной области. Точка после заглавия НЕ ставится. После названия статьи следует пропуск строки.
7. Фамилии и инициалы авторов указываются через запятую в последовательности, соответствующей личному вкладу в написание статьи. Фамилии авторов выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. Между фамилией и первым инициалом, а также между инициалами ставится неразрывный пробел (Ctrl+Shift+пробел). После фамилий авторов следует пропуск строки.
8. Аннотация выполняется на русском и английском языке в соответствии с [рекомендациями по написанию авторского резюме](#). Оформление аннотации: размер шрифта **11pt**, курсив, абзацный отступ 1,25 см. Заголовки отдельных элементов в структуре аннотации выделяются жирным шрифтом. После аннотации следует пропуск строки.
9. Ключевые слова оформляются так же, как и аннотация, и должны содержать основные понятия и термины, употребляемые в статье. Ключевые слова должны формулироваться таким образом, чтобы при семантическом поиске по ним можно было найти данную статью потенциально заинтересованным ученым. После абзаца с ключевыми словами следует пропуск строки.
10. Для структуризации статьи рекомендуется основной текст разделить по частям, имеющим условные подзаголовки «Введение», «Постановка задачи» («Формализация задачи»), «Модель...» («Методика...», «Метод...»), «Результаты моделирования» («Обоснование...»), «Выводы». Подзаголовки выполняются полужирным шрифтом и выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. Перед подзаголовками следует пропуск одной строки.
11. Таблицы выравниваются по центру без абзацного отступа. Текст внутри таблиц может выполняться шрифтом от 10pt до 14pt, в зависимости от степени информационной загрузки ячеек таблиц. Таблицы нумеруются по порядку упоминания, а их названия оформляются в виде «Таблица 1 – Название таблицы» и выравниваются по центру без абзацного отступа. Если таблица выполняется на

- нескольких страницах, необходимо выставлять признак заголовка для первой строки с наименованиями столбцов, либо дублировать первую строку с наименованиями на следующей странице.
12. Рисунки выполняются в виде внедренных объектов векторной графики, выполненных в формате MS Visio (**vsd**) или в форматах метафайлов Windows (**wmf** или **emf**). В случае невозможности представления рисунков в векторном виде, рисунки выполняются в растровых форматах **jpg** или **png**. Нумерация рисунков последовательная по мере упоминания в статье в виде «Рис. 1. Название рисунка». Номер и название рисунка выравниваются по центру без абзацного отступа. До рисунка и после его названия вставляется пропуск строки. Допускается выполнение рисунков, расположенных параллельно друг другу на одном горизонтальном уровне. В этом случае рисунки и их названия помещаются в таблицу с прозрачными границами.
 13. Формулы выполняются в редакторе формул MathType или Microsoft Equation 3.0. Формулы могут быть набраны в основном тексте со вставкой специальных математических символов через меню «Вставка-Символы». **Запрещается набирать формулы во встроенном редакторе формул Microsoft Office 2007 и выше.** Основной шрифт формул набираемых в MathType и Microsoft Equation 3.0, 14 pt. Формулы выравниваются по левому краю с абзацным отступом 2,5 см. При необходимости переноса формул используется общепринятая математическая запись переноса. Формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи, должны быть пронумерованы. Номер формулы проставляется с правого края страницы. При оформлении формул, не следует вставлять дополнительные пропуски строки до и после формул.
 14. Для облегчения редактирования статьи просим выделять **желтым маркером** номера формул, номера рисунков, ссылки на литературу, ссылки на формулы и рисунки в основном тексте статьи.
 15. В конце статьи, по желанию авторов, могут быть приведены высказывания благодарности за помощь в исследованиях, сведения о грантах, НИРах и ОКРах, в рамках которых выполнялась работа, а также сведения об источниках финансирования исследований. Также в конце статьи авторами могут быть представлены приложения, где содержатся листинги программ, на основе которых выполнялось моделирование, различные объемные таблицы и графики, а также другие элементы, которые с одной стороны являются неотъемлемой частью исследования, а с другой - загромождают текст статьи.
 16. Список используемых источников оформляется в соответствии с [требованиями к оформлению библиографических ссылок нашего журнала](#) после подзаголовка «Литература», который выполняется полужирным шрифтом, выравниваются по центру страницы без абзацного отступа. Нумерация ссылок определяется порядком их упоминания в статье. При формировании списка литературы не следует использовать функцию автоматического формирования нумерованного списка. После подзаголовка «Reference» литература дублируется на английском языке. При оформлении списка литературы и его перевода редакция настоятельно просит авторов пользоваться и соблюдать требования и [рекомендации по оформлению списка литературы и его переводу на английский язык](#). После списка литературы и Reference следует пропуск строки.
 17. После списка Reference указывается дата первого представления статьи в редакцию. Данный абзац выделяется полужирным шрифтом, выравнивание по правому краю страницы.
 18. В конце статьи указывается информация об авторах. Данные сведения для каждого соавтора обязательно должны содержать: фамилию, имя, отчество

полностью, научную степень, научное звание, должность и полное наименование организации, телефон и e-mail.

19. Статья завершается текстовым блоком, дублирующим название статьи, фамилии и инициалы авторов, аннотацию статьи и ключевые слова на английском языке. Данный текстовый блок начинается с новой страницы и его элементы оформляются так же, как соответствующие элементы на русском языке в начале статьи.

Требования к оформлению блока, содержащего сведения об авторах. Нижеуказанные сведения приводятся по каждому автору отдельно.

1. Фамилия, Имя, Отчество на русском языке.
2. Научная степень и научное звание (если есть) на русском языке.
3. Место работы с указанием страны и города на русском языке. Указывается официальное название, желательно из устава, в именительном падеже. Так как базы цитирования (например, РИНЦ) «привязывают» статью к определенному автору в определенной организации, то неверное указание места работы может привести к тому, что Ваша статья может отсутствовать в списке Ваших публикаций в базах цитирования, а также в списке публикаций сотрудников Вашей организации.
4. Должность на русском языке.
5. Область научных интересов – на русском языке.
6. Адрес электронной почты. Убедительная просьба указывать существующий и действующий адрес электронной почты для КАЖДОГО соавтора.
7. Корреспондентский почтовый адрес (с индексом) для контактов с авторами статьи. Данный адрес можно указать один на всех авторов. Можно указать как рабочий (предпочтительно), так и домашний (по желанию) адрес. Обратите внимание на то, что эта информация будет опубликована в открытом доступе.
8. Телефон для связи.

1. Фамилия, Имя, Отчество на английском языке.
2. Научная степень и научное звание (если есть) на английском языке. При затруднениях, связанных с переводом, просим воспользоваться [рекомендациями по переводу должности, ученой степени и ученого звания](#).
3. Международное название места работы с указанием страны и города на английском языке (желательно, в соответствии с уставом). Переводить по буквам аббревиатуры в названии НЕ НУЖНО. Редакция просит Вас воздержаться от использования аббревиатур и сокращений, кроме аббревиатур, указывающих на организационно-правовую форму места работы автора (ФГБОУ, ООО, ОАО и т. п.).
4. Должность на английском языке. При затруднениях, связанных с переводом, просим воспользоваться [рекомендациями по переводу должности, ученой степени и ученого звания](#).
5. Область научных интересов – на английском языке (Field of research: ...).
6. Адрес электронной почты. Убедительная просьба указывать существующий и действующий адрес электронной почты для КАЖДОГО соавтора.
7. Корреспондентский почтовый адрес (с индексом) для контактов с авторами статьи. Данный адрес можно указать один на всех авторов. Можно указать как рабочий (предпочтительно), так и домашний (по желанию) адрес. Обратите внимание на то, что эта информация будет опубликована в открытом доступе.
8. Телефон для связи.

Следует учесть, что данные, приведенные в сведениях об авторах (электронный и обычный адрес, телефоны и факс), должны позволять редакции быстро связаться с авторами статей. Если такая связь оказывается невозможной, то это может привести к задержке в публикации статьи. Следует иметь в виду, что редакция не имеет возможности для ведения длительных междугородних телефонных переговоров. Поэтому настоятельно рекомендуется всю переписку с редакцией вести по электронной почте. Редакция настоятельно рекомендует приводить действующие и часто просматриваемые электронные адреса.

При написании работ просим авторов воспользоваться [рекомендациями по написанию научных статей](#).

Минимальные системные требования:

- процессор: Intel x86, x64, AMD x86, x64 не менее 1 ГГц;
- оперативная память RAM ОЗУ: не менее 512 МБайт;
- свободное место на жестком диске (HDD): не менее 120 МБайт;
- операционная система: Windows XP и выше;
- Adobe Acrobat Reader;
- дисковод CD-ROM;
- мышь.

ООО «Корпорация «Интел Групп»

Системы управления, связи и безопасности

Научный журнал

Адрес редакции:

197372, Санкт-Петербург, пр. Богатырский, д. 32, к. 1 лит. А, пом. 6Н.

Тел.: (812) 945-50-63.

<http://sccs.intelgr.com>

E-mail: sccs@intelgr.com

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 - 61239 от 03.04.2015 г.
Территория распространения - Российская Федерация и зарубежные страны

Подписано к использованию 14.04.2017

Объем издания – 11,3 Мб.

Тираж 500 экз.