

На правах рукописи

Максименко Андрей Владимирович

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕТЯХ
СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ
МНОГОПРИОРИТЕТНОЙ НАГРУЗКЕ**

Специальность 05.13.11 — математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Вычислительном центре им. А.А.Дородницына Российской академии наук.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН
Флёров Юрий Арсениевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Цветков Кирилл Юрьевич
(Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации)

кандидат технических наук, доцент
Шестак Константин Васильевич
(Федеральная служба охраны
Российской Федерации)

Ведущая организация: Открытое акционерное общество «Московский
ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский радиотехнический институт»

Защита состоится «__» _____ 2013 г. в __ ч. __ мин. на заседании диссертационного совета Д002.017.02 в ВЦ РАН по адресу: 119333, г Москва, ул. Вавилова, д. 40, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВЦ РАН.

Автореферат разослан «__» _____ 2013 г.

Учёный секретарь диссертационного совета

доктор физико-математических наук, профессор



Рязанов В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Анализ задач информационного обеспечения показал, что для их эффективного решения современная система связи уже на сегодняшний день должна предоставлять возможность:

- передачи мультимедийного трафика;
- передачи файлов большого объема, содержащих мультимедийную информацию;
- удаленного доступа к базам данных в реальном масштабе времени;
- организации видеоконференций;
- обмена электронной почтой (электронного документооборота).

Устойчивая тенденция значительного роста информационных потоков, необходимых для принятия решений в органах управления обусловлена, с одной стороны, ростом обмена официальными документами, с другой стороны, сокращением сроков их прохождения. Все это требует существенного роста пропускной способности существующих сетей связи (особенно спутниковых) и поиска путей по ее обеспечению в изменяющихся условиях функционирования. При этом развитие телекоммуникационной составляющей системы информационного обеспечения должно осуществляться в направлении создания мультисервисной транспортной сети, позволяющей осуществлять высокоскоростной обмен цифровой информацией и организовывать территориально распределенные вычислительные сети, при безусловном соблюдении требований информационной безопасности и интеграции с действующими сетями связи.

Особую роль в создании корпоративных систем связи и управления в последние десятилетия играют сети спутниковой связи в силу наличия у них таких свойств как глобальность связи, устойчивость к наземным катаклизмам (землетрясению, наводнению, урагану, селям и т.п.) мобильность, высокое качество услуг связи и оперативность их предоставления.

Широко используемая в настоящее время для построении коммерческих сетей спутниковой связи технология *VSAT* (*Very small aperture terminal*) ори-

ентирована на значительное повышение пропускной способности (расширение перечня и качества услуг), малые апертуры антенн абонентских станций, использование ретрансляторов связи на геостационарных ИСЗ, а также методы обработки радиосигналов и сетевые технологии, особо чувствительные к нестабильности характеристик и параметров линий (сети) связи, что делает затруднительным прямое использование технологии *VSAT* в выделенных (корпоративных) сетях спутниковой связи. Кроме того, *VSAT*-сети практически не имеют энергетического запаса на решение вопроса помехоустойчивости, не обеспечивают встречной работы со старым парком средств и требуют серьезных финансовых затрат на дооборудование существующих наземных терминалов. С другой стороны, заложенные в семидесятые годы прошлого столетия технические решения по построению ретрансляторов связи и парка наземных средств ведомственных сетей спутниковой связи фиксированной службы принципиально не позволяют реализовать в них современные перечень и качество услуг связи, сравнимые с *VSAT*-сетями.

Проблемам повышения эффективности функционирования сетей связи, как систем массового обслуживания (СМО), предоставляющим ресурс ретранслятора случайным потокам заявок пользователей посвящено значительное число работ отечественных и зарубежных авторов. К ним, в первую очередь, относятся работы А.Я. Хинчина, А. Д. Харкевича, Л. Я. Кантора, В. И.Тихонова, Н. П. Бусленко, А. Г. Зюко, Л. Клейнрока, Скляра Б., Спилкера Дж.и др. Однако обеспечение эффективного функционирования современных сетей связи при обслуживании многоприоритетных и мультисервисных потоков заявок пользователей требует разработки новых, более эффективных алгоритмов динамической оптимизации ресурсов сети, а, следовательно, требует адаптации технологии *VSAT* к специфическим условиям функционирования корпоративных сетей спутниковой связи, и в частности, разработки эффективных алгоритмов обеспечения требуемой безопасности и помехозащищенности этих сетей связи, а также текущего управления качеством обслуживания абонентов в условиях изменяющейся и многоприоритетной нагрузки пользователей и наличия технических отказов бортовой и наземной аппаратуры.

Последние определяет **актуальность темы** проводимого в работе исследования – «Разработка алгоритмов оптимального управления качеством

обслуживания в *VSAT*-корпоративных сетях спутниковой связи в условиях изменяющейся многоприоритетной нагрузки» и позволяет сформулировать цель и решаемую в ней научную задачу.

Цель и задачи работы. Целью проводимого в работе исследования является повышение эффективности функционирования корпоративных *VSAT* – сетей спутниковой связи (по вероятностным показателям качества обслуживания и своевременности доставки сообщений, а также степени использования ресурсов) при обслуживании многоприоритетной нагрузки от абонентов на основе совершенствования алгоритмов динамической оптимизации плана распределения радиоресурсов ретранслятора.

Научная задача состоит в разработке алгоритма оптимального управления объемом (числом единиц) радиоресурса ретранслятора, выделяемого для обслуживания потока заявок каждого приоритета и соответствующими зонами доступности к ресурсу ретранслятора (порогами резервирования), обеспечивающего максимизацию суммарной обслуженной нагрузки при гарантированном выполнении требований к качеству обслуживания высокоприоритетных заявок пользователей.

Методы исследования. В процессе выполнения диссертации использовались математический аппарат теорий вероятности и случайных процессов, сложных систем, стохастического оптимального управления, чувствительности и эффективности целенаправленных процессов, а также методы имитационного моделирования.

Научная новизна.

1. Разработаны математические методы представления потоков требований от многоприоритетных пользователей, методы оценки и прогнозирования их параметров, предложен адекватный критерий оптимальности функционирования КССС, а также метод анализа эффективности управления зонами доступности к ресурсу ретранслятора со стороны многоприоритетных заявок пользователей.
2. Разработан рекуррентный и итерационный алгоритмы динамической оптимизации порогов резервирования (зон доступности) ресурса ретранслятора в условиях изменяющейся многоприоритетной нагрузки от пользователей и заданных требованиях к качеству обслуживания

высокоприоритетных заявок, реализующий принцип коммутации сообщений и не допускающий прерывания обслуживания низкоприоритетных заявок.

3. Предложена модель функционирования КССС, использующей алгоритмы управления ресурсом, обеспечивающая возможность вероятностной оценки показателей эффективности функционирования КССС при оптимизации плана распределения ресурсов с учетом многоприоритетности и временных изменений нагрузки.

Практическая ценность и реализация результатов. На основе разработанных в диссертации алгоритмов динамической оптимизации плана распределения ресурсов ретранслятора могут быть легко реализованы как бортовые, так и наземные подсистемы управления ресурсом в условиях обслуживания многоприоритетного трафика, позволяющие без использования дополнительного оборудования обеспечить существенное (до 10%) повышение эффективности использования ресурса ретранслятора в сетях спутниковой связи.

На защиту выносятся следующие основные **научные результаты**:

- аналитическая модель и методика анализа эффективности функционирования КССС, использующих технологию *VSAT*, учитывающие наличие в составе СМО АСУ КССС алгоритма оптимального управления ресурсом ретранслятора при обслуживании многоприоритетного потока заявок пользователей;
- рекуррентный и итерационный алгоритмы оптимального управления планом резервирования радиоресурсов ретранслятора и зонами доступности к ресурсу для потоков заявок различного приоритета, обеспечивающий максимизацию суммарной обслуженной нагрузки при гарантированном качестве обслуживания требований высшего приоритета в условиях изменяющейся нагрузки пользователей;
- результаты оценки эффективности функционирования и предложения по программно-аппаратной реализации алгоритмов управления качеством обслуживания многоприоритетных потоков требований, использующих в составе СМО АСУ перспективных КССС разработанные ал-

горитмы управления качеством обслуживания многоприоритетных потоков заявок пользователей.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на 7-й Научно-практической конференции «Проблемы развития технологических систем государственной охраны, специальной связи и специального информационного обеспечения», (Академия ФСО России, Орёл, Россия, 2011 г.), Конференции молодых ученых и специалистов, посвященная 55-летию со дня образования НИИ автоматической аппаратуры им.В.С.Семенихина (НИИ АА им. В.С.Семенихина, Москва, Россия, 2011 г.), Всероссийской молодежной научно-технической конференции на тему «Прикладные научно-технические проблемы современной теории управления системами и процессами» (ОАО «Концерн «Вега», Москва, Россия, 2012 г.), а также на семинарах отдела математического моделирования систем проектирования Вычислительного центра им. А.А.Дородницына РАН (Москва, Россия, 2012-2013 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе 4 из них в рекомендуемых ВАК РФ научных журналах и 1 патент на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, приложения, списка литературы, включающего 76 наименований. Основное содержание работы изложено на 94 страницах машинописного текста. Работа содержит 5 таблиц и 27 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность решения задачи разработки дополнительного алгоритма управления качеством обслуживания многоприоритетных пользователей в составе специального математического обеспечения АСУ КССС, использующих технологию VSAT, и структурируются этапы ее решения.

В первой главе проводится анализ задач КССС по информационному обеспечению органов управления, формулируются требования к перечню и качеству предоставляемых КССС услуг связи, проводится обзор и обоснование перспективных структур и способов управления, формулируется научная задача, решаемая в работе и обосновываются эффективные пути ее решения. Возможный вариант оперативно-технических требований, предъявляемых к корпоративной сети спутниковой связи фиксированной службы представлен в таблице 1.

Таблица 1. Вариант оперативно-технических требований, предъявляемых к корпоративной сети спутниковой связи фиксированной службы

Тип сети, метод много- станционного доступа	Звездообразная конфигурация, ВРК/МДВР
Число станций в сети	До 16 000
Мощность/ширина по- лосы частот спутника	1/10 от всего ретранслятора (в зависимости от размеров сети, трафика, антенны и т.п.)
Исходящая передача (центральная станция – удаленные станции)	• одна или несколько несущих ВРК (256 или 512 кбит/с) • несколько несущих ВРК с доступом по методу МДЧР
Входящая передача (удаленная станция - центральная стан- ция)	• от 1 до 4 несущих МДВР (64 или 128 кбит/с), доступные каждой станции • к каждой несущей МДВР имеет доступ группа станций (одна группа: до 4000 станций) • несколько несущих МДВР с доступом по методу МДЧР

Формат передачи	Пакеты (<i>HDLC</i>)	
Входящие/исходящие порты для данных удаленной станции	4 (возможно увеличение): <i>RS-232, V.35.</i> и т.д.	
Предоставление каналов на исходящем направлении	• случайное предоставление каналов (<i>ALOHA</i>) • предоставление по требованию (резервирование) • фиксированная емкость Возможен автоматический переход от одного метода к другому	
Частотный диапазон	14/10–12 ГГц	6/4 ГГц
Характеристики удаленной станции: • диаметр антенны (неследящей) • шумовая температура приемника • G/T • твердотельный усилитель мощности • ЭИИМ	1,2–2,4 м 160 К 15,5–21,5 дБ/К 1–5 Вт 42–55 дБВт	2,4–3,4 м 70 К 17,7–20,5 дБ/К 2–10 Вт 45–55 дБВт
Прием ВРК (с декодированием КИО)	$Eb/No = 8$ дБ при $BER = 10^9$	
Передача МДВР	ФМн-2 (+сверточное кодирование со скоростью 1/2)	

В диссертации проанализирована структура корпоративной стационарной сети спутниковой связи (ССС), базирующейся на ресурсах ретрансляторов (РС) орбитальных группировок, принадлежащих ФГУП «Космическая связь», ОАО «Газпром космические системы» и Министерству обороны РФ. СССР должна обеспечивать работу в двух основных режимах: предоставления каналов по требованиям абонентов (сеть типа «звезда» или «каждый с каж-

дым») и фиксированного закрепления ресурса (при наличии достаточного ресурса РС). При этом скорость передачи информации от узловых станций должна составлять до 2048 кбит/с, от оконечных станций в отдельных направлениях может составить величину до 512 кбит/с (от подвижных ЗС – 4,8...9,6 кбит/с).

На сегодня этим требованиям в большей или меньшей степени удовлетворяют сети разработанные отечественными предприятиями на базе средств «Центавр» и «Зеркало».

Технологическое управление *VSAT*-сетью может осуществляться автоматически или с помощью оператора посредством оборудования и программно-го обеспечения, входящих в состав центральной станции. Пример организации управления *VSAT*-сетью на основе модели «менеджер-агент» представлен на рисунке 1. На ЦЗС устанавливается менеджер, к нему подключается АРМ дежурного по сети. Менеджер и АРМ дежурного по сети образуют Центр управления сетью (ЦуСС). На ПЗС устанавливается агент. Через РС организуется спутниковый канал управления, доступный каждой станции, входящей в сеть. В зависимости от вида предоставляемого ресурса (частотный, временной, кодовый либо по требованиям пользователей) выделяется требуемая полоса пропускной способности для данного канала, величина которой рассчитывается отдельно и зависит от структуры сети. В спутниковом канале управления выделяется полоса для формирования общего канала сигнализации с целью организации режима предоставления ресурса по требованию. На ЦуСС устанавливается главный менеджер, управляющий данной сетью, а также другими подчиненными сетями (при управлении последними по протоколу *SNMP*). Так как КССС на основе технологии *VSAT* может базироваться на РС государственного назначения («Экспресс-АМ», «Экспресс-МД», «Экспресс-А», «Ямал-201», «Ямал-202», «Astra 1F»), то необходимо предусмотреть взаимодействие АСУ КССС с Центрами управления связью ФГУП «Космическая связь» и ОАО «Газпром космические системы».

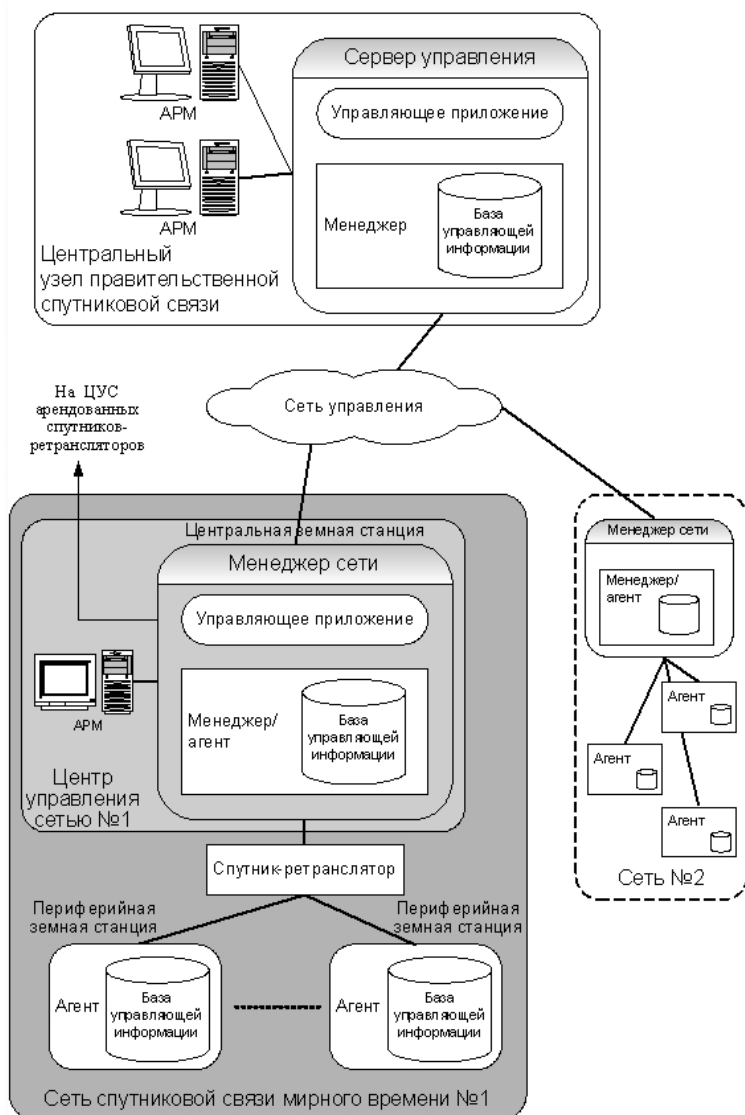


Рис. 1: Организация управления корпоративной сетью спутниковой связи

Качество обслуживания пользователей и степень использования ресурса пропускной способности ретранслятора *VSAT*-сетей ССС в условиях изменяющейся нагрузки и наличия возмущающих факторов в значительной степени

определяется оптимальностью принятого метода многостанционного доступа (МД), способа предоставления и алгоритма управления ресурсом ретранслятора, поэтому их совершенствование является одной из первостепенных задач. На рисунке 2 представлена классификация способов многостанционного доступа, используемых в VSAT-сетях СС. К основным показателям качества различных протоколов предоставления ресурса относятся *степень (коэффициент) использования ресурса, среднее время задержки в обслуживании требований (доставке сообщения) и стоимость услуг.*

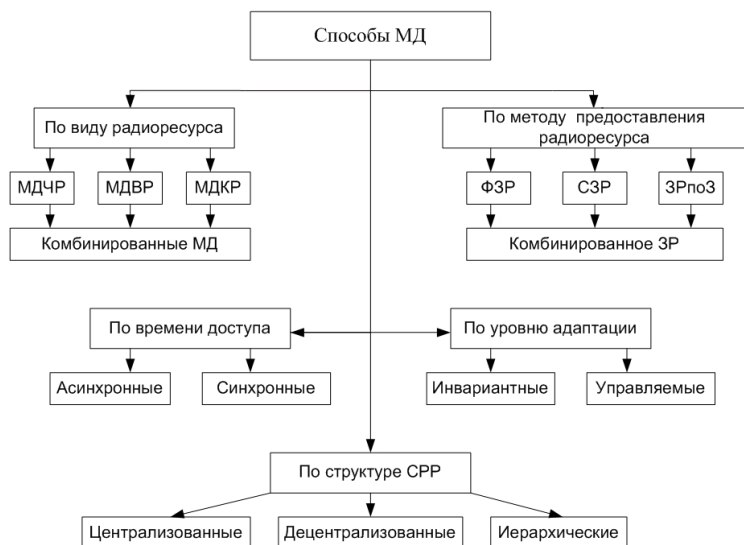


Рис. 2: Классификация способов многостанционного доступа, используемых в VSAT-сетях спутниковой связи

Как показал проведенный анализ степени использования ресурса ретранслятора для различных протоколов доступа к ресурсу, минимальные сервисные потери ресурса ретранслятора на обеспечение доступа соответствуют фиксированному временному доступу (МДВР), однако для него свойственна большая по сравнению с другими методами задержка в обслуживании, растущая при увеличении числа ЗС, а также трудность оперативного изменения состава сети. С другой стороны, неустойчивость процесса обслуживания и малый коэффициент использования ресурса ($< 18,4\%$) в «чистой» ALOHA

делает целесообразным использование в сетях *VSAT методов динамического предоставления ресурса по требованиям пользователей*, основанных на разделении ресурса между запросными и информационными каналами, а также применении модифицированной синхронной *ALOHA* ($S = 36,8\%$) в запросных каналах. Делается вывод о том, что дальнейшее повышение эффективности функционирования *VSAT-сетей CCC* может быть достигнуто только за счет разработки более совершенных алгоритмов динамического резервирования ресурса ретранслятора (оптимизации порогов резервирования) в условиях случайных изменений нагрузки многоприоритетных пользователей и состояния ресурса ретранслятора.

Во **второй главе** обосновываются и разрабатываются математические методы представления многоприоритетных потоков требований пользователей, методы оценки и прогнозирования их параметров, а также анализа эффективности управления зонами доступности к ресурсу ретранслятора со стороны разноприоритетных заявок пользователей. Учитывая возможность параметрического уровня задания априорных данных относительно нагрузок различного приоритета на сеть связи в качестве модели временно-го ряда обосновываются марковские модели потоков требований. При этом дискретному множеству состояний входящего потока требований $X_{ri}(k) \in X_r, i = \overline{1, I}$ (числу заявок одного приоритета $\lambda_{ri}(k) = x_{ri}(k)$, поступивших за интервал времени $T = const$) в дискретные моменты времени $k \in \{1, \dots, K\}, kT = t_k$ и состоянию занятости ресурса ретранслятора обслуживанием требований соответствует конечное множество управлений $u_s(k) \in U, s = \overline{1, S}$ (решений относительно числа резервируемых в интересах каждого приоритета каналов и соответствующих им значений порогов резервирования).

Простейшей моделью такой управляемой случайной последовательности – входящего потока требований одного приоритета, является однородная управляемая цепь Маркова, которая задается вектором вероятностей начальных состояний процесса $\vec{P}(0) = \{p_i(0)\}, i = \overline{1, I}$, матрицей одношаговых переходных вероятностей

$$P^{u_s}(k/k-1) = \{p_{ij}^{u_s}(k/k-1)\}, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, I}, \quad (1)$$

множеством возможных управлений $U = \{u_s(k)\}$, а также неизменным периодом смены состояния $T = t_k - t_{k-1}$.

Для случая цепи Маркова $x(k) = x_i(k) = \vec{C}^T \vec{\theta}(k)$ смена ее состояний описывается следующим разностным стохастическим уравнением:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= [P^{u^T}(k+1/k) \vec{\theta}(k)]^T \vec{C} + \Gamma_x(k+1)v(k), \\ \vec{\theta}(0) &= \vec{P}(0), x(0) = \bar{x}(0), k = \overline{0, K}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\vec{C} = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_I\}$ — вектор возможных состояний цепи Маркова;

$\vec{\theta}(k) = \left\{ \theta_i(k) = \begin{cases} 1, & \text{при } x(k) = x_i, \\ 0, & \text{при } x(k) \neq x_i \end{cases} \right\}, k = \overline{1, K}$ — вектор индикаторов i -х состояний цепи в k -й момент времени;

$\vec{P}(0), P^u(k+1/k)$ — вектор вероятностей начальных состояний ЦМ и матрица одношаговых переходных вероятностей;

$\Gamma_x(k+1) = \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{\sigma_v^2}}$ — коэффициент диффузии процесса $x(k)$;

$m_x(k) = \sum_{i=1}^I p_i(k)x_i, \sigma_x^2(k) = \sum_{i=1}^I p_i(k)(x_i - m_x(k))^2$ — математическое ожидание и дисперсия процесса $x(k)$;

$v(k)$ — возбуждающая случайная дискретная последовательность с дисперсией V .

Для случая зашумленного канала наблюдения за процессом $x(k)$ уравнение наблюдения его состояния имеет следующий вид:

$$z(k+1) = H(k+1)x(k) + \Gamma_y(k+1)w(k+1), \quad (3)$$

где $H(k+1)$ — функция наблюдения за процессом $x(k)$;

$\Gamma_y(k+1)$ — коэффициент диффузии процесса наблюдения;

$w(k+1)$ — шум наблюдения, являющийся непрерывнозначной белой гауссовской последовательностью с нулевым средним и единичной дисперсией.

Для решения задачи текущей оценки и прогноза величины нагрузки от пользователей различных приоритетов рассмотрим обобщение алгоритма фильтрации, оптимального в смысле минимума среднеквадратической ошибки (МСКО), на случай оценки состояния зашумленной цепи Маркова (2). Мож-

но показать, что для принятой модели состояния и наблюдения (4) текущая оценка состояния процесса $x(k)$ может быть найдена на основе следующего рекуррентного алгоритма:

$$\hat{x}(k+1) = \left[P(k+1/k) \hat{\tilde{\theta}}(k) \right]^T C + K(k+1)[z(k+1) - H(k+1)x'(k+1)], \quad (4)$$

$$\hat{\tilde{\theta}}(0) = \vec{P}(0), \hat{x}(0) = \bar{x}(0).$$

В работе сформулирован обобщенный показатель эффективности функционирования ССС - коэффициент обслуженности суммарной нагрузки в сети связи и соответствующий ему критерий оптимальности решений относительно планируемого числа зарезервированных каналов $\Delta_r(k)$ и значений порогов резервирования $d_r(k)$ на основе его максимизации при условии выполнения требований к вероятности обслуживания заявок высшего приоритета и ограничений на ресурс ретранслятора:

$$K_o(k, z_\Sigma, z_r, P_{\text{обсл } r}(d_r, \Delta_r)) \rightarrow \max \quad (5)$$

при ограничениях

$$P_{\text{обсл } 1}(i, \lambda_1, V_\Sigma, d_r, \Delta_r) \geq P_{\text{доп } 1} \text{ и } \sum_{r=1}^R \Delta_r(k) = V_\Sigma$$

и начальном условии $K_o(0) = 0$, где $K_o(k) = \frac{\sum_{r=1}^R z_r P_{\text{обсл } r}(k)}{z_\Sigma(k)}$ — коэффициент обслуженности нагрузки;

k — номер шага оптимизации;

$z_r(k) = \frac{\lambda_r(k)t_3}{60}$, $z_\Sigma(k)$ — входящая нагрузка, создаваемая заявками только r -го приоритета, и суммарная входящая нагрузка соответственно;

λ_r — интенсивность поступающей нагрузки r -го приоритета (выз./час);

t_3 — среднее время занятия ресурса одним вызовом (мин);

$P_{\text{обсл } r}(k, \lambda_1, V_\Sigma, d_r, \Delta_r)$ — вероятность обслуживания заявок r -го приоритета;

$P_{\text{доп } r}$ — требования, предъявляемые к вероятности обслуживания заявок r -го приоритета;

$\Delta_r(k), d_r(k)$ — текущее значение зарезервированного числа единиц ресурса

и порога резервирования (зоны доступности) для пользователей r -го приоритета;

V_{Σ} — суммарное число единиц ресурса (каналов).

В **третьей главе** на основе предложенных моделей, критериев оптимальности функционирования КССС разработаны обобщенный рекуррентный и приближенный итерационный алгоритмы управления числом резервируемых единиц ресурса и зонами доступности к ресурсу ретранслятора в условиях изменяющейся нагрузки от многоприоритетных пользователей и заданных требованиях к качеству их обслуживания.

Суть приближенного итерационного алгоритма заключается в последовательной пошаговой оптимизации числа единиц ресурса ретранслятора, выделяемого каждому приоритетному потоку заявок, при фиксации решений для потоков заявок отличного приоритета и итерационной коррекцией предыдущих решений до достижения устойчивого оптимального плана. Предложенный приближенный алгоритм, на наш взгляд, является аналогом алгоритма Гаусса-Зейделя, но для задач дискретной оптимизации.

Проведены исследования сходимости и эффективности предложенных алгоритмов во всем диапазоне возможных изменений нагрузки. Предложены варианты аппаратно – программной реализации алгоритма управления качеством обслуживания в составе СМО АСУ КССС.

Блок-схема итерационного алгоритма оптимизации числа резервных каналов и порогов резервирования для потоков заявок двух приоритетов, удовлетворяющий критерию (5), представлена на рисунке 3.

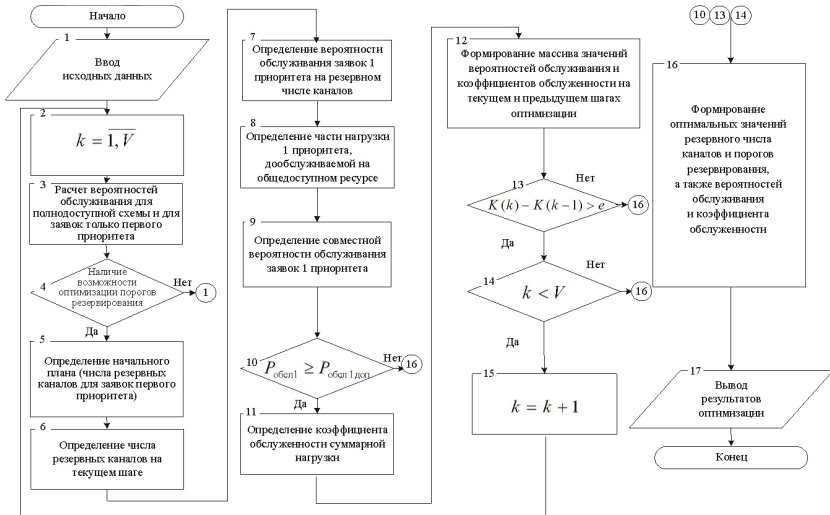


Рис. 3: Общий алгоритм оптимизации числа резервируемых каналов и порогов резервирования для заявок различного приоритета в КССС.

На рисунках 4-5 приведены конечные результаты решения задачи оптимизации порогов резервирования при обслуживании заявок трех приоритетов на основе предложенного итерационного алгоритма для следующих исходных данных.

$R = 3$ — число приоритетных групп абонентов в сети;

$n_1 = 70$ — число абонентов 1-й приоритетной группы;

$n_2 = 60$ — число абонентов 2-й приоритетной группы;

$n_3 = 50$ — число абонентов 3-й приоритетной группы;

$\lambda_1 = 3$ — интенсивность поступления вызовов от одного абонента 1-й приоритетной группы, выз./час;

$\lambda_2 = 2$ — интенсивность поступления вызовов от одного абонента 2-й приоритетной группы, выз./час;

$\lambda_3 = 2$ — интенсивность поступления вызовов от одного абонента 3-й приоритетной группы, выз./час;

$t_1 = 2$ — среднее время обслуживания одного абонента 1-й приоритетной группы (средняя длительность занятия канала), мин;

$t_2 = 2$ — среднее время обслуживания одного абонента 2-й приоритетной

группы (средняя длительность занятия канала), мин;

$t_3 = 2$ — среднее время обслуживания одного абонента 3-й приоритетной группы (средняя длительность занятия канала), мин;

$V_\Sigma = 19$ — общее число каналов в сети;

$P_{\text{доп } 1} = 0,97$ — требования к вероятности обслуживания заявок первого приоритета;

$P_{\text{доп } 2} = 0,93$ — требования к вероятности обслуживания заявок второго приоритета.

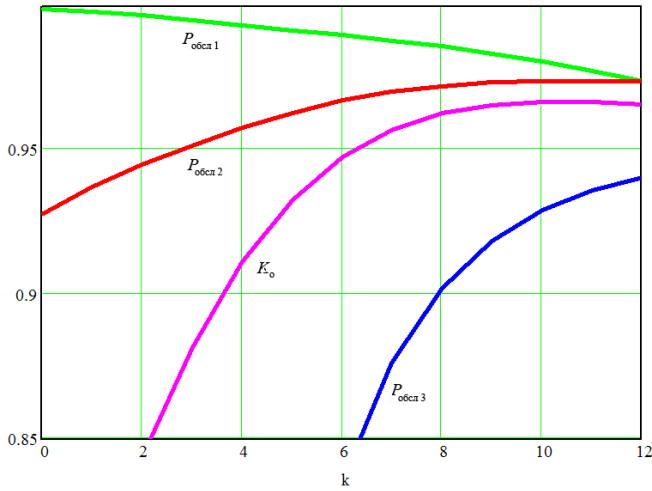


Рис. 4: Результаты оптимизации первого шага четвертого этапа итерации.

Оптимальные значения (рисунок 4):

$k = 11, \Delta_1 = 1, d_1 = 19, \Delta_2 = 7, d_2 = 18, d_3 = 11, P_{\text{обсл } 1} \approx 0,977, P_{\text{обсл } 2} \approx 0,973, P_{\text{обсл } 3} \approx 0,935, K_o \approx 0,96606$.

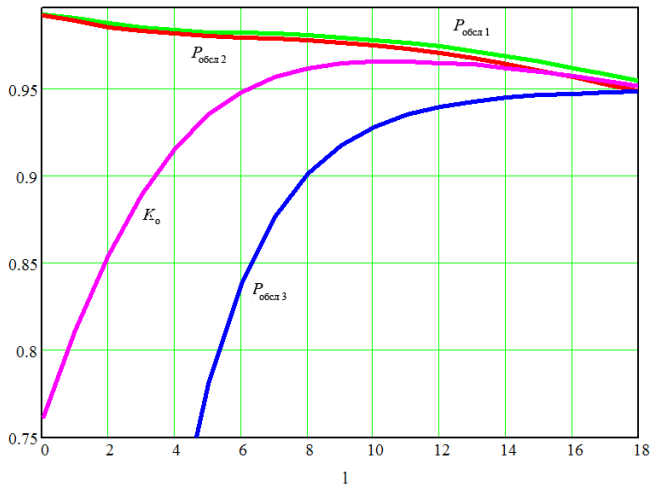


Рис. 5: Результаты оптимизации на втором шаге четвертого этапа итерации.

Оптимальные значения (рисунок 5):

$l = 11, \Delta_1 = 1, d_1 = 19, \Delta_2 = 7, d_2 = 18, d_3 = 11, P_{\text{обсл } 1} \approx 0,977, P_{\text{обсл } 2} \approx 0,973, P_{\text{обсл } 3} \approx 0,935, K_o \approx 0,96606$.

Как видно из графиков результаты оптимизации на соседних шагах итерации совпали, поэтому процесс оптимизации считается завершенным, а полученный результат оптимальным.

Здесь же показано, что использование в составе специального математического обеспечения АСУ КССС алгоритмов оптимизации порогов резервирования ресурса ретранслятора при обслуживании заявок от многоприоритетных пользователей позволит исключить прерывания в обслуживании заявок пользователей и повысить коэффициент обслуженности суммарного трафика до 10% при безусловном выполнении требований к вероятности обслуживания заявок высшего приоритета.

Результаты работы.

1. Разработаны адекватные математические модели многоприоритетных потоков заявок в сети спутниковой связи и методы получения текущих оценок их интенсивностей. Обоснован обобщенный показатель эффективности функционирования ССС в виде относительной суммарной обслуженной нагрузки – коэффициента обслуженности, положенного

в основу критерия оптимальности плана распределения ресурсов ретранслятора.

2. На основе анализа недостатков существующих методов распределения ресурсов ретранслятора поставлена задача и обоснованы методы синтеза алгоритма динамической оптимизации плана распределения ресурсов, оптимального по критерию максимума суммарной обслуженной нагрузки при безусловном выполнении заданных требований к вероятности обслуживания высокоприоритетных заявок пользователей.
3. Разработаны итерационный и рекуррентный алгоритмы оптимального управления зонами доступности и числом резервируемых единиц ресурса ретранслятора для многоприоритетных потоков заявок пользователей, обеспечивающие максимальную эффективность использования ресурсов ретранслятора, реализующие принцип коммутации сообщений, статистического уплотнения на ресурсе заявок различного приоритета и не допускающие прерывания обслуживания заявок низших приоритетов. Показана возможность аппаратно-программной реализации алгоритмов управления планом на современной вычислительной базе.
4. Получены численные и экспериментальные результаты оценки эффективности функционирования ССС, которые подтвердили возможность повышения эффективности использования ресурсов ретранслятора до 10%, а также выигрыш по обобщенному показателю эффективности до 30% при использовании в системах распределения ресурсов синтезированных алгоритмов.

Публикации по теме диссертации.

1. Максименко А. В., Дубровин А.Г., Терентьев В.М., Алгоритм динамической оптимизации порогов резервирования ресурса ретранслятора при обслуживании многоприоритетных требований в корпоративных сетях спутниковой связи. // М.: «Телекоммуникации», 2012 г. – № 5. – С .13-15.
2. Максименко А. В., Терентьев В. М., Сравнительная оценка методов распределения ресурса ретранслятора в сетях спутниковой связи при

- обслуживании многоприоритетных потоков заявок пользователей. // Сборник научных трудов Академии ФСО России. Выпуск №29 (6). Орёл: Академия ФСО России, 2012.– С.38-43.
3. Максименко А. В., Терентьев В. М., Использование генетических алгоритмов многокритериальной оптимизации в задачах распределения ресурсов ретранслятора при обслуживании многоприоритетного потока требований пользователей.// Сборник трудов 7-й Научно-практической конференции «Проблемы развития технологических систем государственной охраны, специальной связи и специального информационного обеспечения». Часть 2. Орёл: Академия ФСО России. 2011.– С.172-175.
 4. Максименко А. В., Терентьев В. М., Осипов А. Н., Алгоритм динамической оптимизации порогов резервирования ресурса ретранслятора при обслуживании многоприоритетных требований в корпоративных сетях спутниковой связи.// Сборник трудов 7-й Научно-практической конференции «Проблемы развития технологических систем государственной охраны, специальной связи и специального информационного обеспечения». Часть 2. Орёл: Академия ФСО России. 2011.– С.108-110.
 5. Максименко А. В. Сравнение методов распределения ресурса ретранслятора при обслуживании многоприоритетного трафика в сетях спутниковой связи. // Журнал «Информационные системы и технологии». Выпуск №3 (77). Орёл, 2013. С.85-90.
 6. Максименко А.В. Устройство динамического распределения радиоресурса ретранслятора в сети спутниковой связи при обслуживании многоприоритетных потоков заявок пользователей. //Патент РФ на полезную модель RU 119550, H04B 7/00, приоритет 02.11.2011, опубл. 20.08.2012, бюлл. №23.
 7. Максименко А.В. Алгоритм распределения ресурсов спутникового ретранслятора для многоприоритетного трафика. //Журнал «Информационные технологии и вычислительные системы». Выпуск № 2013/01. Москва, 2013.

8. Максименко А.В. Рекуррентный алгоритм резервирования радиоресурсов ретранслятора при обслуживании многоприоритетных потоков заявок пользователей в корпоративных VSAT-сетях спутниковой связи.// Сборник трудов конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 55-летию со дня образования НИИ автоматической аппаратуры им. В.С. Семенихина. – Москва: НИИ АА им. В.С. Семенихина. 2011.
9. Максименко А.В. Задача оптимизации алгоритма резервирования ресурса ретранслятора при обслуживании многоприоритетных потоков заявок пользователей в корпоративных VSAT-сетях спутниковой связи.//Сборник тезисов докладов Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Прикладные научно-технические проблемы современной теории управления системами и процессами». – М.: ОАО Концерн «Вега», Россия, 2012.