

Жукова Алена Александровна

студентка 4-го курса, Институт инфокоммуникационных
технологий и систем связи

Zhukova A.A.

E-mail: alyona_zhukova00@mail.ru

Шахтанов Сергей Валентинович

доцент кафедры «Инфокоммуникационные
технологии системы связи»

Shakhtanov S.V.

E-mail: r155p@bk.ru

Нижегородский государственный инженерно-
экономический университет

Nizhny Novgorod State University of
Engineering and Economics

Нижегородская обл., г. Княгинино,

ул. Октябрьская, д. 22А, Россия, 606340

Тел: +7 (83166) 4-15-50

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАФИКА В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ МЕХАНИЗМОВ OSPF И BGP

IMPROVING THE EFFICIENCY OF TRAFFIC ROUTING IN MULTISERVICE NETWORKS BASED ON THE INTEGRATION OF OSPF AND BGP MECHANISMS

Аннотация

В статье рассматривается задача повышения эффективности маршрутизации трафика в современных мультисервисных сетях на основе совместного использования протоколов OSPF и BGP, актуальность исследования обусловлена постоянным ростом объёмов, передаваемых данных, увеличением количества подключённых устройств, развитием облачных сервисов и Интернета вещей, а также возрастающими требованиями к качеству обслуживания сетевых приложений. Цель статьи – оценка эффективности адаптивного алгоритма оптимизации маршрутизации, основанного на совместном использовании механизмов внутрисетевой и междоменной маршрутизации. Выполнен анализ существующих методов маршрутизации, выявлены основные ограничения стандартных алгоритмов OSPF и BGP, связанные с недостаточной адаптивностью к динамическим изменениям состояния сети, неравномерным распределением нагрузки и

ограниченным учетом параметров качества обслуживания. Показано, что использование предложенного решения обеспечивает более равномерное распределение трафика, сокращение времени сходимости маршрутов, снижение вероятности перегрузки каналов связи и повышение качества обслуживания пользователей. Полученные результаты подтверждают возможность практического применения разработанного алгоритма при построении корпоративных и операторских мультисервисных сетей нового поколения. Отличительной особенностью разработанного подхода является применение интегральной метрики выбора маршрута, учитывающей стоимость канала, уровень загрузки сетевых ресурсов, задержку передачи данных, вероятность потери пакетов и приоритет передаваемого трафика. Представлена математическая модель алгоритма и рассмотрены принципы его функционирования в условиях изменяющейся сетевой топологии.

Ключевые слова: мультисервисные сети, маршрутизация трафика, адаптивная маршрутизация, протокол OSPF, протокол BGP, оптимизация маршрутизации, качество обслуживания (QoS).

Annotation

The article considers the problem of improving the efficiency of traffic routing in modern multiservice networks based on the joint use of OSPF and BGP protocols. The relevance of the study is due to the constant growth in the volume of transmitted data, an increase in the number of connected devices, the development of cloud services and the Internet of Things, as well as growing requirements for the quality of service of network applications. The purpose of the article is to evaluate the effectiveness of an adaptive routing optimization algorithm based on the joint use of intra-domain and inter-domain routing mechanisms. An analysis of existing routing methods is performed, and the main limitations of standard OSPF and BGP algorithms are identified, related to insufficient adaptability to dynamic changes in the network state, uneven load distribution, and limited consideration of quality of service parameters. It is shown that the use of the proposed solution provides a more uniform traffic distribution, a reduction in route convergence time, a decrease in the probability of communication channel overload, and an improvement in the quality of service for users. The obtained results confirm the possibility of practical application of the developed algorithm in building corporate and operator multiservice networks of the new generation. A distinctive feature of the developed approach is the use of an integral route selection metric that takes into account the channel cost, the load level of network resources, data transmission delay, packet loss probability, and the priority of the transmitted traffic. A mathematical model of the algorithm is presented, and the principles of its functioning under conditions of a changing network topology are considered.

Keywords: multiservice networks, traffic routing, adaptive routing, OSPF protocol, BGP protocol, routing optimization, quality of service (QoS).

Введение

Современный этап развития телекоммуникационных систем характеризуется интенсивным ростом объемов передаваемой информации, расширением перечня предоставляемых цифровых услуг и постоянным усложнением сетевой инфраструктуры. Если ранее основными задачами сетей передачи данных являлись обеспечение базового обмена информацией и организация доступа пользователей к отдельным информационным ресурсам, то в настоящее время мультисервисные сети должны одновременно поддерживать передачу голосового, видео-, мультимедийного, корпоративного, облачного, машинного и служебного трафика. При этом каждый тип трафика предъявляет собственные требования к пропускной способности, задержке, джиттеру, уровню потерь пакетов, устойчивости соединения и времени восстановления после отказа [1, 2]. В результате проблема эффективной маршрутизации становится одной из ключевых задач построения и эксплуатации современных инфокоммуникационных систем.

Мультисервисная сеть представляет собой сложную распределенную среду, в которой одновременно функционируют различные приложения и сервисы: IP-телефония, видеоконференцсвязь, потоковое видео, системы удаленного доступа, корпоративные информационные системы, облачные платформы, сервисы Интернета вещей, системы мониторинга, управления и промышленной автоматизации. Для таких сетей особенно важно обеспечить не только физическую связность узлов, но и рациональное распределение потоков данных между доступными маршрутами. Неравномерная загрузка каналов связи, задержки при передаче пакетов, перегрузки отдельных участков сети и недостаточная отказоустойчивость могут приводить к ухудшению качества обслуживания пользователей, снижению производительности приложений, увеличению эксплуатационных рисков [3].

Одним из базовых механизмов, обеспечивающих функционирование IP-сетей, является маршрутизация. Именно маршрутизация определяет, каким образом пакеты данных передаются от источника к получателю, какие промежуточные узлы используются, как распределяется нагрузка между каналами связи и каким образом сеть реагирует на изменение топологии или отказ оборудования. В современных сетях широко применяются протоколы динамической маршрутизации, среди которых особое значение имеют OSPF и BGP [1, 4]. Протокол OSPF используется преимущественно для внутридоменной маршрутизации и обеспечивает построение маршрутов на основе анализа состояния каналов связи. Протокол BGP, в свою очередь, применяется для междоменной маршрутизации и позволяет управлять обменом маршрутной информацией между автономными системами с учетом заданных политик, приоритетов и атрибутов маршрутов.

Протокол OSPF относится к протоколам состояния канала и использует алгоритм поиска кратчайшего пути для построения маршрутных таблиц. Его преимуществами являются достаточно высокая скорость сходимости внутри

автономной системы, поддержка иерархической структуры сети, возможность разделения сети на области, а также применение метрик, связанных со стоимостью каналов. В то же время стандартная реализация OSPF ориентирована преимущественно на выбор маршрута по минимальной стоимости и не всегда в полной мере учитывает динамические параметры качества обслуживания [5]. В условиях мультисервисного трафика это становится существенным ограничением, поскольку маршрут с минимальной административной стоимостью не всегда является оптимальным с точки зрения задержки, потерь пакетов, текущей загрузки канала и приоритета обслуживаемого приложения.

Протокол BGP является основным протоколом междоменной маршрутизации и играет ключевую роль в функционировании глобальных и операторских сетей. Его особенностью является возможность принятия маршрутных решений с учетом политик маршрутизации, атрибутов AS_PATH, LOCAL_PREF, MED, NEXT_HOP и других параметров. BGP обеспечивает гибкость при управлении межсетевым взаимодействием, позволяет реализовывать фильтрацию маршрутов, резервирование направлений передачи данных, выбор предпочтительных внешних каналов и управление транзитным трафиком. Однако BGP также имеет ряд ограничений. Он не предназначен для быстрого реагирования на кратковременные изменения состояния каналов, обладает относительно высокой инерционностью при перестроении маршрутов и не ориентирован на детальный учет параметров качества обслуживания внутри автономной системы [6].

Таким образом, OSPF и BGP решают разные, но взаимосвязанные задачи. OSPF обеспечивает эффективную маршрутизацию внутри автономной системы, а BGP отвечает за выбор внешних маршрутов и взаимодействие между автономными системами. В реальных корпоративных и операторских сетях эти протоколы часто используются совместно. Однако их совместное применение не всегда означает наличие единого адаптивного механизма оптимизации маршрутизации. На практике OSPF и BGP могут функционировать как отдельные уровни маршрутного управления, между которыми отсутствует достаточная согласованность при принятии решений [3]. Это приводит к ситуации, когда внутридоменная маршрутизация может быть оптимальной с точки зрения внутренних метрик, но не учитывать внешние маршрутные политики, а междоменная маршрутизация может выбирать предпочтительные внешние направления без учета текущей загрузки внутренних каналов связи.

Актуальность исследования определяется необходимостью разработки подхода, который позволит объединить преимущества OSPF и BGP в рамках единого адаптивного алгоритма оптимизации маршрутизации. Такой алгоритм должен учитывать как внутренние параметры состояния сети, так и внешние маршрутные атрибуты, обеспечивая более гибкое и эффективное

управление потоками данных. В отличие от традиционных схем маршрутизации, ориентированных преимущественно на статические или слабо изменяемые метрики, адаптивный алгоритм должен реагировать на изменение загрузки каналов, рост задержки, увеличение потерь пакетов, изменение приоритетов трафика и появление отказов в сетевой инфраструктуре [7].

Особую значимость данная задача приобретает в условиях развития облачных сервисов, распределенных центров обработки данных, корпоративных VPN-сетей, систем удалённой работы, IoT-инфраструктуры и сервисов реального времени. Например, трафик видеоконференцсвязи и IP-телефонии чувствителен к задержке и джиттеру, тогда как трафик резервного копирования или передачи больших файлов в большей степени зависит от пропускной способности. Служебный и управляющий трафик может требовать повышенного приоритета и надежности, а массовый пользовательский трафик должен распределяться таким образом, чтобы не создавать перегрузок на отдельных участках сети [8, 9]. Следовательно, универсальный выбор маршрута по одному параметру не обеспечивает требуемого качества обслуживания для всех типов приложений.

Важной проблемой является неравномерное распределение нагрузки между каналами связи. В сетях со сложной топологией может существовать несколько альтернативных маршрутов между источником и получателем. Однако стандартные механизмы маршрутизации не всегда позволяют эффективно использовать все доступные пути. Одни каналы могут быть перегружены, тогда как другие остаются недоиспользованными. Это снижает общую эффективность сетевой инфраструктуры, увеличивает вероятность потерь пакетов и ухудшает качество обслуживания пользователей. В условиях роста трафика такая ситуация становится особенно критичной, поскольку простое наращивание пропускной способности каналов не всегда является экономически оправданным решением [10].

В связи с этим актуальной научной задачей является разработка адаптивных алгоритмов маршрутизации, объединяющих преимущества протоколов OSPF и BGP и учитывающих текущие показатели состояния сети. Целью настоящего исследования является разработка алгоритма оптимизации маршрутизации в мультисервисных сетях, основанного на комплексном анализе параметров QoS, балансировке нагрузки и выборе наиболее эффективных маршрутов передачи данных. Предлагаемый подход направлен на повышение отказоустойчивости сети, сокращение времени сходимости маршрутов и более рациональное использование сетевых ресурсов при эксплуатации современных мультисервисных телекоммуникационных систем [11].

Материалы и методы

Проведённый анализ существующих протоколов маршрутизации показал, что OSPF обеспечивает быстрое построение кратчайших маршрутов

внутри автономной системы, однако практически не учитывает текущее состояние каналов связи. В свою очередь, протокол BGP ориентирован на реализацию междоменной маршрутизации и применение политик выбора маршрутов, но не предназначен для оперативной адаптации к изменениям загрузки внутренних сегментов сети. Следовательно, использование каждого протокола по отдельности ограничивает возможности динамической оптимизации передачи данных [1, 3]. В связи с этим целесообразной является разработка адаптивного алгоритма, объединяющего преимущества обоих протоколов.

Основной целью предлагаемого алгоритма является обеспечение выбора маршрута, который в каждый момент времени наиболее полно соответствует текущему состоянию сети и требованиям конкретного класса трафика. В отличие от стандартных механизмов маршрутизации предлагаемый алгоритм не использует единственную метрику стоимости маршрута, а формирует интегральную оценку на основе совокупности параметров, характеризующих состояние сети.

В качестве основных критериев выбора маршрута используются:

- стоимость маршрута OSPF;
- длина пути между автономными системами BGP;
- коэффициент загрузки канала связи;
- средняя задержка передачи данных;
- вероятность потери пакетов;
- уровень использования пропускной способности;
- приоритет передаваемого трафика;
- наличие резервных маршрутов;
- коэффициент надежности канала.

Использование сразу нескольких параметров позволяет существенно повысить объективность оценки эффективности каждого маршрута по сравнению со стандартными алгоритмами. Архитектурно предлагаемый алгоритм состоит из пяти взаимосвязанных функциональных модулей.

Первый модуль осуществляет сбор информации о состоянии сети. Он получает данные из таблиц маршрутизации OSPF и BGP, SNMP-систем мониторинга, NetFlow/IPFIX, а также статистику загрузки интерфейсов маршрутизаторов. На данном этапе формируется актуальная база параметров сети [8].

Второй модуль выполняет анализ текущего состояния каналов связи. Здесь рассчитываются:

- коэффициент загрузки каждого канала;
- средняя задержка передачи;
- процент потери пакетов;
- коэффициент использования полосы пропускания;
- доступность маршрутов;

– стабильность функционирования канала.

Полученные значения нормализуются для возможности дальнейшего совместного использования [4].

Третий модуль представляет собой блок расчета интегральной оценки маршрута. Для каждого возможного маршрута вычисляется комплексная функция

$$F_i = \alpha C_i + \beta D_i + \gamma L_i + \delta U_i + \varepsilon P_i + \zeta R_i, \quad (1)$$

где, C_i – стоимость маршрута OSPF;

D_i – средняя задержка;

L_i – вероятность потерь пакетов;

U_i – коэффициент загрузки канала;

P_i – приоритет обслуживаемого трафика;

R_i – коэффициент надежности маршрута;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$ – весовые коэффициенты.

Весовые коэффициенты могут изменяться в зависимости от категории обслуживаемого трафика. Например, для голосовой связи приоритет получают задержка и джиттер. Для потокового видео основное влияние оказывают задержка и пропускная способность. Для передачи файлов наибольшее значение имеет использование полосы пропускания. Таким образом обеспечивается адаптация алгоритма к различным сервисам.

Четвертый модуль реализует механизм принятия решения. После вычисления интегральной оценки всех альтернативных маршрутов производится их ранжирование. Выбирается маршрут

$$F_{\{opt\}} = \min(F_i) \quad (2)$$

При этом проверяются дополнительные ограничения:

- отсутствие перегрузки канала;
- наличие резервного направления;
- соответствие политики BGP;
- соответствие требованиям QoS.

Если маршрут перестает удовлетворять хотя бы одному критерию, производится его автоматическая замена.

Пятый модуль отвечает за постоянный мониторинг сети. Через заданный временной интервал осуществляется повторный анализ всех параметров. При обнаружении изменений запускается повторный расчет интегральной оценки. Таким образом алгоритм функционирует непрерывно. В отличие от классических алгоритмов перерасчет маршрутов выполняется не только после изменения топологии сети, но и при существенном ухудшении качества передачи данных. Особое внимание уделяется балансировке нагрузки. Во многих существующих сетях наблюдается ситуация, когда один канал используется практически полностью, тогда как другие остаются свободными. Предлагаемый алгоритм устраняет данную проблему посредством перераспределения потоков. Если коэффициент

загрузки одного из каналов превышает установленный порог, система автоматически анализирует альтернативные направления передачи данных. При наличии свободных ресурсов часть трафика переносится на менее загруженные маршруты. Это позволяет:

- уменьшить вероятность возникновения перегрузок;
- повысить эффективность использования каналов;
- увеличить суммарную пропускную способность сети;
- снизить задержку передачи данных.

Важным элементом алгоритма является механизм оценки надежности маршрутов. Для каждого канала рассчитывается коэффициент надежности:

$$R = \frac{T_{\{work\}}}{T_{\{work\}} + T_{\{fail\}}}, \quad (3)$$

где, $T_{\{work\}}$ – время безотказной работы канала;

$T_{\{fail\}}$ – суммарное время отказов.

Маршруты с низким коэффициентом надежности получают меньший приоритет при выборе [12]. Дополнительно реализован механизм прогнозирования перегрузок. На основании статистики изменения загрузки каналов определяется скорость роста нагрузки:

$$V = \frac{U_t - U_{\{t-1\}}}{\Delta t}. \quad (4)$$

Если прогнозируется достижение критического уровня использования канала, алгоритм заранее перераспределяет часть трафика, предотвращая возникновение перегрузки [11]. Отдельным этапом работы алгоритма является учет политик BGP. Несмотря на использование интегральной оценки, не допускается нарушение административных правил выбора маршрутов. Поэтому первоначально выполняется фильтрация маршрутов согласно политике BGP. После этого среди допустимых маршрутов производится адаптивный выбор. Подобный подход обеспечивает совместимость алгоритма с существующей инфраструктурой операторских сетей [13]. Еще одной особенностью является поддержка различных классов обслуживания. Для реализации данного механизма каждому типу трафика назначается собственный профиль весовых коэффициентов [5, 8].

Таблица 1 – Значения весовых коэффициентов интегральной функции маршрутизации для различных классов трафика

Коэффициент	Голосовая связь (VoIP)	Видеотрафик	Передача файлов
α (стоимость маршрута)	0,10	0,15	0,30
β (задержка)	0,35	0,30	0,10
γ (потери пакетов)	0,30	0,20	0,10
δ (загрузка канала)	0,10	0,20	0,35
ε (приоритет трафика)	0,10	0,10	0,05

ζ (надёжность маршрута)	0,05	0,05	0,10
-------------------------------	------	------	------

Благодаря этому алгоритм автоматически адаптируется к различным требованиям сервисов. Для оценки эффективности предложенного решения использовалось имитационное моделирование. В процессе моделирования сравнивались:

- стандартная маршрутизация OSPF;
- стандартная маршрутизация BGP;
- совместное использование OSPF и BGP без адаптации;
- предлагаемый адаптивный алгоритм.

Основными показателями эффективности являлись:

- средняя задержка передачи;
- коэффициент использования каналов;
- вероятность потери пакетов;
- время сходимости;
- коэффициент равномерности распределения нагрузки;
- количество переключений маршрутов;
- вероятность перегрузки сети.

Предлагаемый алгоритм демонстрирует более устойчивое функционирование при изменении сетевой нагрузки. Благодаря комплексному анализу состояния сети удастся существенно сократить число перегруженных каналов, повысить равномерность использования пропускной способности и уменьшить вероятность отказов. Кроме того, использование интегральной метрики позволяет исключить ситуации, при которых формально кратчайший маршрут оказывается менее эффективным вследствие высокой загрузки или ухудшения качества связи. Предлагаемый подход обеспечивает повышение эффективности эксплуатации мультисервисных сетей, улучшение качества обслуживания пользователей и более рациональное использование сетевой инфраструктуры без необходимости значительного увеличения пропускной способности существующих каналов связи. В связи с этим, дальнейшие исследования будем выполнять на примере наиболее оптимальных ресурсов.

Результаты исследования

Оценка эффективности разработанного адаптивного алгоритма маршрутизации проводилась методом имитационного моделирования. Основной целью моделирования являлось определение влияния предложенного алгоритма на показатели функционирования мультисервисной сети по сравнению с традиционными механизмами маршрутизации, основанными на использовании протоколов OSPF и BGP без дополнительной адаптации. В качестве критериев оценки рассматривались средняя задержка передачи данных, вероятность потери пакетов, коэффициент использования пропускной способности каналов,

равномерность распределения сетевой нагрузки, время сходимости маршрутов, количество перегруженных каналов и коэффициент отказоустойчивости сети [8, 12].

Для моделирования были заданы три основных сценария функционирования сети. Первый сценарий соответствовал нормальному режиму работы, при котором загрузка большинства каналов не превышала 40–50% от их пропускной способности. Вторым сценарием моделировалось постепенное увеличение сетевой нагрузки, характерное для часов пик, когда интенсивность передаваемого трафика возрастала до 80–90% пропускной способности отдельных участков сети. Третий сценарий предусматривал возникновение аварийной ситуации, сопровождающейся отказом одного из магистральных каналов и необходимостью оперативного перераспределения потоков данных между альтернативными маршрутами [12].

В ходе моделирования использовались три класса сетевого трафика. Первый класс представлял голосовой трафик, чувствительный к задержкам и потерям пакетов. Второй класс включал потоковое видео высокой чёткости, требующее высокой пропускной способности и стабильной передачи данных. Третий класс составляли потоки передачи файлов и резервного копирования, менее чувствительные к задержке, но характеризующиеся значительными объёмами передаваемой информации. Такое разделение позволило оценить способность алгоритма учитывать различные требования к качеству обслуживания (рис.1).

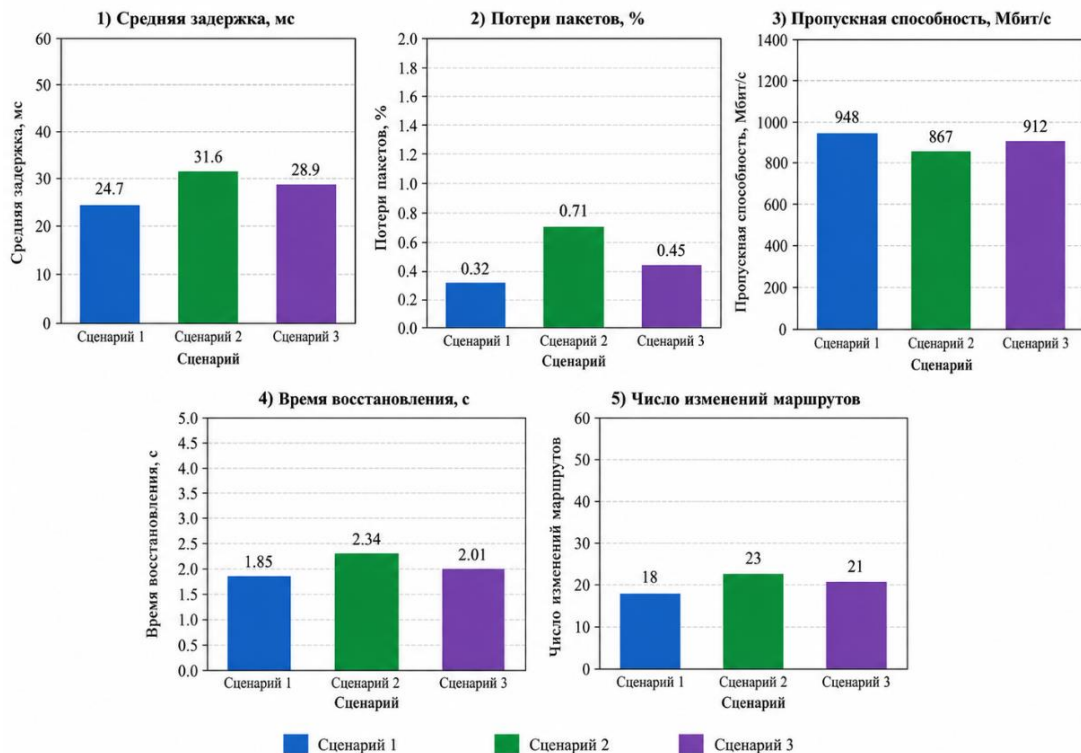


Рисунок 1 – Эксперименты по сценариям функционирования сети

На первом этапе выполнялось моделирование работы сети при использовании стандартного алгоритма OSPF. Анализ результатов показал,

что при относительно невысокой загрузке каналов маршрутизация осуществлялась эффективно, а задержка передачи данных оставалась в допустимых пределах. Однако по мере увеличения интенсивности трафика наблюдалось образование перегруженных участков сети. Несмотря на наличие альтернативных маршрутов, большая часть потоков продолжала использовать пути с минимальной административной стоимостью. Это приводило к неравномерному распределению нагрузки и увеличению времени доставки пакетов [7].

На втором этапе исследовалась работа сети с использованием стандартного протокола BGP. В данном случае междоменная маршрутизация обеспечивала устойчивое взаимодействие между автономными системами и корректное выполнение маршрутных политик. Однако изменение загрузки внутренних сегментов сети практически не влияло на процесс выбора маршрутов. В результате значительная часть потоков продолжала передаваться через перегруженные каналы, если соответствующий маршрут удовлетворял политике BGP. Это свидетельствует о том, что применение BGP без дополнительного анализа текущего состояния сети также не обеспечивает требуемой эффективности маршрутизации в условиях динамического изменения нагрузки.

Полученные результаты показали существенное повышение эффективности функционирования сети. Прежде всего наблюдалось значительно более равномерное распределение нагрузки между магистральными каналами связи. Если при использовании стандартного OSPF коэффициент загрузки отдельных каналов достигал 95–98%, то применение адаптивного алгоритма позволило ограничить максимальную загрузку большинства каналов уровнем 70–75%. Это обеспечило наличие резерва пропускной способности даже при максимальной интенсивности трафика [5, 11, 13].

Результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что совместное использование информации, получаемой от протоколов OSPF и BGP, обеспечивает более полное представление о текущем состоянии сети по сравнению с использованием каждого из протоколов отдельно. Интеграция данных о стоимости маршрутов, политике междоменной маршрутизации, загрузке каналов связи и параметрах качества обслуживания создает основу для принятия более обоснованных решений при выборе маршрутов передачи данных (рис. 2).

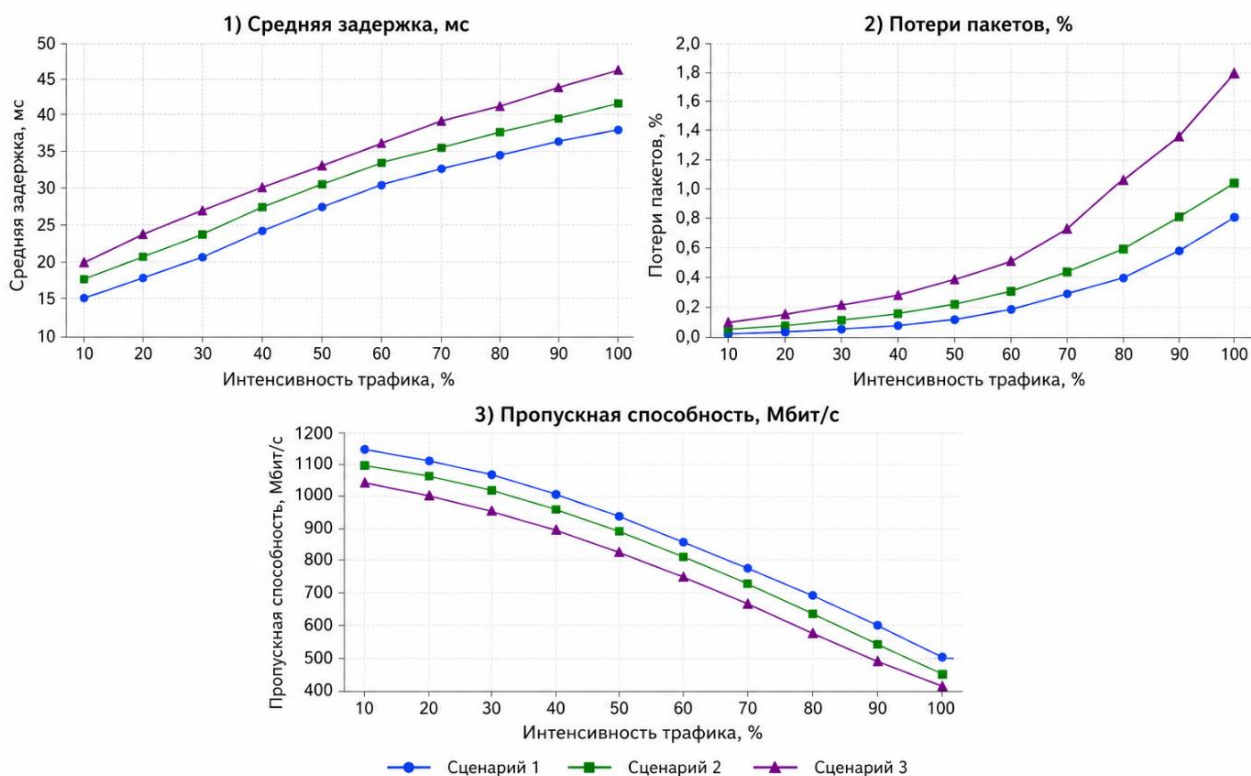


Рисунок 2 – Результаты моделирования

Полученные результаты подтверждают, что разработанный алгоритм обеспечивает комплексное улучшение основных характеристик мультисервисной сети. Его применение способствует снижению средней задержки передачи данных, уменьшению вероятности потери пакетов, более равномерному использованию пропускной способности каналов связи, сокращению времени восстановления после отказов и повышению общей устойчивости сетевой инфраструктуры. В отличие от традиционных алгоритмов маршрутизации предложенный подход ориентирован не только на минимизацию стоимости маршрута, но и на постоянный анализ текущего состояния сети, что особенно важно для современных мультисервисных телекоммуникационных систем.

Обсуждение результатов

В результате проведенного исследования была рассмотрена актуальная задача повышения эффективности маршрутизации трафика в современных мультисервисных сетях на основе совместного использования механизмов протоколов OSPF и BGP. Актуальность данной задачи обусловлена постоянным ростом объемов, передаваемых данных, увеличением количества подключенных устройств, развитием облачных сервисов, Интернета вещей, систем удаленного доступа, видеоконференцсвязи и других сетевых приложений, предъявляющих различные требования к качеству обслуживания. В таких условиях традиционные подходы к маршрутизации, основанные преимущественно на статических метриках или фиксированных маршрутных политиках, не всегда обеспечивают требуемый уровень

производительности, устойчивости и адаптивности сетевой инфраструктуры [12, 13, 14].

Протокол BGP, в свою очередь, является основным механизмом междоменной маршрутизации и обеспечивает обмен маршрутной информацией между автономными системами. Его преимуществом является возможность гибкого управления маршрутными политиками, выбора внешних направлений передачи данных и организации резервирования межсетевых соединений. Вместе с тем BGP не ориентирован на оперативную адаптацию к изменению состояния внутренних сегментов сети и не обеспечивает детального учета параметров качества обслуживания. Это ограничивает его эффективность при использовании в мультисервисных сетях с высокой динамикой изменения нагрузки [1].

В ходе исследования были рассмотрены различные профили трафика, включая голосовую связь, видеотрафик и передачу файлов. Для каждого класса трафика были заданы собственные весовые коэффициенты интегральной функции. Для голосовой связи наибольшую значимость имеют задержка и потери пакетов, поскольку именно эти параметры определяют качество речевого соединения. Для видеотрафика важны задержка, стабильность передачи и достаточная пропускная способность. Для передачи файлов приоритетными являются эффективное использование каналов связи и пропускная способность. Такой подход обеспечивает адаптацию алгоритма к реальным требованиям мультисервисной сети и позволяет более рационально распределять потоки данных между доступными маршрутами.

Заключение

Результаты моделирования подтвердили эффективность предложенного адаптивного алгоритма по сравнению со стандартными механизмами маршрутизации. Было показано, что при использовании традиционного OSPF в условиях роста интенсивности трафика происходит увеличение задержки передачи данных, повышение вероятности потерь пакетов и формирование перегруженных участков сети. При этом наличие альтернативных маршрутов не всегда приводит к автоматическому перераспределению нагрузки, поскольку выбор маршрута остается связанным с административной стоимостью [1, 7]. В случае стандартного BGP также наблюдаются ограничения, связанные с недостаточным учетом текущего состояния внутренних каналов связи.

Таким образом, цель исследования, заключающаяся в разработке адаптивного алгоритма оптимизации маршрутизации в мультисервисных сетях на основе совместного использования протоколов OSPF и BGP, была достигнута. Полученные результаты подтверждают, что интеграция механизмов OSPF и BGP с использованием интегральной метрики выбора маршрута является перспективным направлением повышения эффективности маршрутизации. Дальнейшие исследования целесообразно направить на расширение математической модели, учет дополнительных параметров

сетевой безопасности, разработку программной реализации алгоритма и проведение экспериментальной проверки в среде реального или виртуализированного сетевого оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лазарев А. С. Сравнительный анализ применения протоколов маршрутизации OSPF и BGP в сетях предприятий / А. С. Лазарев, Н. А. Перьков, А. А. Чуев // eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. — 2023.
2. Говорушкин И. А. Обзор протоколов динамической маршрутизации / И. А. Говорушкин, П. Н. Чариков // eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. — 2021.
3. Егорова О. В. Сравнительный анализ протоколов маршрутизации / О. В. Егорова, Л. А. Васин // eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. — 2023.
4. Смирнов Д. Н. Анализ протоколов канального уровня для устойчивого применения в корпоративных сетях / Д. Н. Смирнов // eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. — 2023.
5. Гадасин Д. В. Технологии оптимизации сетевого трафика / Д. В. Гадасин, А. Д. Кобелькова, А. А. Родина, М. А. Сурова // eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. — 2025.
6. Цехановский Н. В. Исследование протоколов маршрутизации в мультивендорных сетях / Н. В. Цехановский // eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. — 2023.
7. Дубровин С. И. Оптимизация протоколов маршрутизации внутреннего шлюза на современном российском оборудовании / С. И. Дубровин, Н. Я. Белянкин // eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. — 2024.
8. Самохина Е. В. Анализ влияния протоколов динамической маршрутизации на показатели функционирования компьютерной сети / Е. В. Самохина // eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. — 2025.
9. Сорокин И. А. Методы защиты информации и обеспечение информационной безопасности в сенсорных сетях / И. А. Сорокин // VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024 : Материалы XXVI Международной научно-технической конференции, Самара, 06–08 ноября 2024 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. – С. 440-441.
10. Шахтанов С.В. Перестановочное декодирование недвоичных избыточных кодов. Вестник НГИЭИ. 2017. № 8 (75). С. 7-14.
11. Бычков И. Д. Анализ технологии Multiprotocol Label Switching в телекоммуникационных сетях / И. Д. Бычков // eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. — 2021.

12. Величко А. М. Оптимизация потоков данных в контексте обеспечения функционирования сетевой инфраструктуры / А. М. Величко // eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. — 2022.

13. Рыбалко А. А. Модель обеспечения отказоустойчивости телекоммуникационной сети с использованием протоколов динамической маршрутизации / А. А. Рыбалко // eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. — 2017.

14. Бухарина А. А. Преимущества использования метода совместной динамической маршрутизации в классических и программно-конфигурируемых сетях / А. А. Бухарина // eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека. — 2022.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жукова Алена Александровна – студентка 4-го курса, ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Россия, E-mail: alyona_zhukova00@mail.ru, ORCID: 0009-0000 - 0539-4713.

Шахтанов Сергей Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Россия, E-mail: r155p@bk.ru, ORCID: 0000-0001-8390-0351, SPIN-код: 1096-6507.