

На правах рукописи



Дорт-Гольц Антон Александрович

**Разработка и исследование метода балансировки трафика в пакетных
сетях связи**

05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича".

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Симонина Ольга Александровна

Официальные оппоненты: Канаев Андрей Константинович,
доктор технических наук, доцент,
Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I,
заведующий кафедрой "Электрическая связь"

Гайдамака Юлия Васильевна,
кандидат физико-математических наук, доцент,
Российский университет дружбы народов,
доцент кафедры "Прикладная информатика
и теория вероятностей"

Ведущая организация: Открытое акционерное общество "ГИПРОСВЯЗЬ-СПб",
г. Санкт-Петербург.

Защита состоится 17 декабря 2014 года в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 219.004.02 при Федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, корп. 1, ауд. 554/1.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте www.sut.ru и в библиотеке Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» по адресу Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 65.

Автореферат разослан 5 ноября 2014 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. техн. наук, доцент



В.Х. Харитонов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Эволюционные процессы, происходящие в сетях связи, неизбежно отражаются на объёмах и внутренней структуре трафика. Согласно многочисленным исследованиям, суммарный объём данных, передаваемых глобальной сетью, показывает устойчивый экспоненциальный рост со второй половины 90-х годов прошлого века, при этом прогнозы экспертов и аналитиков единодушны: в ближайшие годы данная тенденция сохранится. Наряду с увеличением объёмов данных, поведение трафика современной глобальной сети обнаруживает такую негативную особенность, как нестабильность нагрузки, характеризующуюся возможностью появления непредсказуемых всплесков интенсивности передачи. Существует комплекс причин, способных вызвать подобную нестабильность. Например, различные проявления стихийной организации и скоординированных действий множества пользователей, порождённые вирусным характером распространения популярной информации. Лавинообразный процесс вовлечения новых пользователей, новые способы коллективной коммуникации, базирующиеся на широком применении социальных сервисов, массовые онлайн-трансляции, прогнозируемый взрыв M2M-трафика – всё это заставляет говорить о новом характере возникающих нагрузок.

Исследователи отмечают, что современные сети страдают от недостатка пропускной способности. Согласно проведенным исследованиям, около 20–30 % соединений глобальной сети, маршрутизируются через перегруженные участки. При этом отмечается значительная неравномерность распределения загрузки канальных ресурсов, что может свидетельствовать о неэффективности применяемых механизмов управления трафиком в текущих условиях. Выходом из сложившейся ситуации является разработка специальных методов балансировки трафика, позволяющих эффективно распределять нагрузку в соответствии с имеющимися незадействованными ресурсами.

Степень разработанности темы. На данный момент существует довольно большое количество работ, посвященных вопросам организации эффективного распределения нагрузки в сетях связи. Исследования в этой области проводили многие известные отечественные и зарубежные ученые, в числе которых

Башарин Г.П., Вишневский В.М., Гайдамака Ю.В., Гольдштейн Б.С., Дымарский Я.С., Канаев А.К., Крутякова Н.П., Кучерявый А.Е., Самуйлов К.Е., Пшеничников А.П., Степанов С.Н., Цитович И.И., Шнепс-Шнеппе М.А., Яновский Г.Г., Fortz B., Kleinrock L., Medhi D., Pioro M., Thorup M. и многие другие.

Несмотря на то, что в целом указанная область исследуется довольно активно, ряд вопросов остается открытым. Необходимо отметить объективно малое количество работ, посвященных методам балансировки сетевого трафика, сочетающим способность реагировать на происходящие изменения в режиме близком к реальному времени со стабильностью неоперативных систем и возможностью функционировать независимо от применяемых сетевых технологий.

Объектом исследования являются пакетные сети связи. Предмет исследования – метод балансировки трафика в пакетных сетях связи.

Цель и задачи исследования. Целью данной диссертационной работы является разработка метода балансировки трафика в пакетных сетях связи на основе наложенной балансировочной сети и исследование характеристик предложенного метода. Для достижения поставленной цели в главах диссертационной работы решается ряд задач:

- разработка децентрализованной самоорганизующейся сети балансировки трафика, способной реагировать на изменения сетевых нагрузок в режиме близком к реальному времени;

- разработка математической модели оценки возможностей по распределению и передаче трафика наложенной балансировочной сетью;

- выявление области эффективного применения наложенной балансировочной сети в сравнении с традиционной маршрутизацией;

- оценка применимости автоматизированных методов, основанных на анализе временных рядов, для прогнозирования поведения реального сетевого трафика на малых временных интервалах;

- исследование параметров и показателей эффективной работы наложенной балансировочной сети и разработка соответствующих рекомендаций.

Научная новизна. Основные результаты диссертации, обладающие научной новизной:

– предложен метод балансировки трафика, отличающийся от известных использованием децентрализованной самоорганизующейся наложенной сети с прогнозированием интенсивности входящего трафика;

– разработана математическая модель оценки возможностей по распределению и передаче трафика наложенной балансировочной сетью;

– разработаны научно обоснованные рекомендации по функционированию наложенной балансировочной сети, позволяющие проводить балансировку непредсказуемых всплесков интенсивности трафика в режиме близком к реальному времени.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы состоит в разработке математической модели, оценивающей возможности распределения и передачи трафика на основе свойств наложенной балансировочной сети. Основным практическим результатом диссертационной работы является разработка распределенной самоорганизующейся системы балансировки трафика, позволяющей реагировать на кратковременные всплески интенсивности трафика в режиме близком к реальному времени.

Полученные в диссертационной работе результаты использованы ОАО «НИИ Масштаб» при подготовке технического проекта ОКР «Мост-СНГ», а также в учебном процессе кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ) при чтении лекций и проведении практических занятий по курсам «Маршрутизация в IP-сетях» и «Сетевые технологии, Интернет и NGN» для магистров.

Методология и методы исследования. Проводимые исследования базируются на теории вероятностей, теории графов, методах анализа и предсказания временных рядов. Для численной оценки эффективности разработанной модели балансировки трафика использовалось высокоуровневое имитационное моделирование. Моделирование производилось на специально разработанном симуляторе, реализованном на языке программирования Python.

Положения, выносимые на защиту:

- метод балансировки трафика на основе децентрализованной самоорганизующейся наложенной балансировочной сети;
- математическая модель оценки возможностей передачи и распределения трафика в предложенной балансировочной сети;
- научно обоснованные рекомендации по функционированию наложенной балансировочной сети.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов подтверждается корректным использованием математических методов исследования и результатами имитационного моделирования. Основные результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на следующих всероссийских и международных конференциях: 16th International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT, PyeongChang, South Korea, 2014), 14th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Advanced Networks and Systems (NEW2AN, St.-Petersburg, Russia, 2014), на 68-й и 69-й конференциях СПбНТОРЭС им. А.С. Попова (Санкт-Петербург, 2013, 2014), а также на II Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» (Санкт-Петербург, 2013).

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 5 докладах на научно-технических конференциях и 6 научных статьях. Всего по теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, из них 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 141 наименование и трех приложений. Работа содержит 148 страниц без приложений, 66 рисунков и 13 таблиц.

Личный вклад. Основные результаты теоретических и прикладных исследований получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит основная роль при решении поставленных задач и обобщении полученных результатов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, рассмотрено состояние исследуемой проблемы, сформулированы цели и задачи, отмечены научные результаты, полученные в работе, определены практическая ценность и область применения результатов, приведены сведения об апробации работы, а также представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы проведен анализ основных тенденций изменения структуры трафика в современных сетях связи. Указывается экспоненциальный характер роста объемов трафика, передаваемого глобальной сетью, подтверждаемый прогнозами аналитиков на ближайшие годы, а также изменение внутренней структуры трафика глобальной сети.

Вместе с тем отмечено, что современные сети характеризуются новыми типами возникающих нагрузок, в частности плохо предсказуемыми всплесками интенсивности передачи. Ярким примером может служить известный эффект flash-crowd, возникающий при вирусном распространении информации о некотором популярном ресурсе/контенте, в результате чего наблюдается временный и практически непредсказуемый всплеск интенсивности передаваемого сетевого трафика. Подобное поведение приводит к возникновению перегруженных участков сети и, как следствие, к неизбежным потерям данных. В то же время исследователи отмечают неравномерность использования существующей сетевой инфраструктуры, вследствие применения традиционных протоколов маршрутизации, направляющих агрегированный трафик по единственному строго оптимальному пути, в то время как некоторые потенциальные ресурсы сети практически не используются. В главе рассматриваются основные подходы и существующие методы балансировки сетевого трафика. Общим недостатком рассмотренных методов может считаться ограниченность их применения в рамках сети конкретного оператора и отсутствие возможности организовать балансировку трафика на маршруте, проходящем через несколько различных сетей. Отмечается необходимость разработки новых универсальных методов

балансировки нагрузки, способных реагировать на изменения характера трафика в режиме близком к реальному времени и задействовать для его передачи дополнительные неиспользуемые ресурсы. Ключевым моментом является нецелесообразность вмешательства в работу действующих протоколов маршрутизации, обеспечивающих функционирование современных сетей связи. Определен набор требований, которым должны отвечать новые методы балансировки трафика: универсальность, возможность реализации на существующей сетевой инфраструктуре, использование многопутевой маршрутизации, самоорганизация, сочетание быстрой реакции на изменения, происходящие в характере сетевого трафика, и краткосрочного предсказания его поведения.

Одним из наиболее перспективных методов универсальной балансировки трафика на данный момент считается построение наложенной сети, в рамках которой на уровне прикладных протоколов может осуществляться произвольное распределение нагрузки. В главе рассмотрены существующие типы наложенных сетей, а также основные характерные свойства, присущие им. Вместе с тем на сегодняшний день отмечается практически полное отсутствие сетей балансировки трафика, отвечающих указанным требованиям, что обуславливает актуальность проводимого исследования. Логическим завершением главы является формулировка цели дальнейшего исследования и сопутствующих задач.

Во второй главе диссертационной работы предлагается метод балансировки трафика, основанный на использовании децентрализованной самоорганизующейся наложенной сети с прогнозированием интенсивности входящего трафика, позволяющий распределять избыточную нагрузку по маршрутам, не задействованным в случае традиционной маршрутизации по кратчайшим путям. Для исключения локальных перегрузок предлагается использовать независимые экземпляры самоорганизующихся наложенных балансировочных сетей. Такое разбиение позволит избежать проблем масштабирования, характерных для единой структуры сети.

Узлы, участвующие в процессе балансировки, организуются в полносвязную наложенную сеть, задачей которой является координация

действий по распределению транзитного трафика. Такая наложенная сеть является децентрализованной самоорганизующейся одноранговой P2P-структурой, позволяющей динамически управлять группой входящих в нее узлов, а также самостоятельно осуществлять их подключение/отключение. Основные задачи, распределяемые между всеми узлами-участниками наложенной сети, можно классифицировать следующим образом: процедуры управления наложенной сетью, контроль состояния наложенной сети, балансировка транзитного трафика. Обозначенные процедуры позволяют наложенной балансировочной сети функционировать полностью автономно, не требуя вмешательства извне для централизованного контроля, конфигурирования, подключения/отключения узлов и т. п.

Базовой идеей предлагаемого метода балансировки является возможность выбора определенных субоптимальных путей для передачи трафика, мало чувствительного к сетевым задержкам (рис. 1). В рамках используемой терминологии прямыми называются кратчайшие (в топологии наложенной сети) маршруты, соединяющие два узла, а обходными – маршруты, проходящие через дополнительный узел наложенной сети.

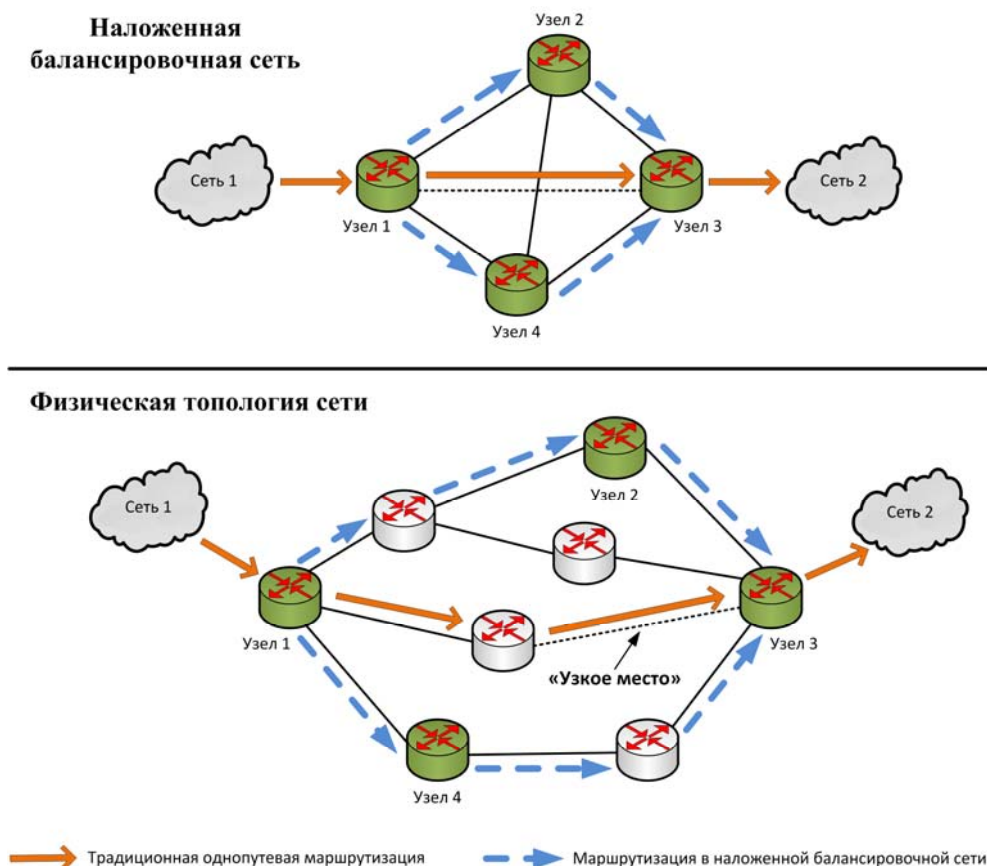


Рисунок 1 – Балансировка с применением наложенной сети

В диссертационной работе предлагается математическая модель оценки возможностей передачи и распределения трафика с применением наложенной балансировочной сети. Сравнительно невысокая вычислительная сложность, а также возможность распараллеливания вычислений между всеми узлами сети позволяют использовать её в условиях малых временных интервалов пересчета параметров балансировки. В рамках предлагаемой модели рассматриваются два типа сетевого трафика: приоритетный и неприоритетный. Приоритетный трафик имеет преимущество перед неприоритетным при контроле входящей нагрузки на узле, а также не подвергается переводу на обходные пути. Можно показать, что количество обходных маршрутов, проходящих по одному ребру полносвязного графа топологии наложенной сети в одну сторону, составляет:

$$R = \begin{cases} 0, & \text{при } n \leq 2, \\ 2n - 4, & \text{при } n > 2, \end{cases} \quad (1)$$

где n – количество вершин графа, при этом половина маршрутов ($R/2$) начинается в одной вершине, а остальные $(n-2)$ маршрута – в оставшихся вершинах. Это позволяет выделить каждому узлу долю доступной пропускной способности на обходных маршрутах. Тогда интенсивность входящего трафика, принимаемого некоторым узлом, определяется текущими возможностями передачи, т.е. загрузкой соответствующих каналов наложенной сети (2).

$$\begin{cases} \lambda_{ij}^{IN-p_{pass}}(t_s) \leq \lambda_{ij}^{tr}, \\ \lambda_{ij}^{IN-np_{pass}}(t_s) \leq \left[\frac{\lambda_{ij}^{tr}(t_s) - \lambda_{ij}^{IN-p_{pass}}(t_s)}{2} \right] + \sum_{k \neq i, j} \min \left\{ \frac{f_{res_{jk}}(t_s)}{2}; \frac{f_{res_{kj}}(t_s)}{2n-4} \right\}. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь λ_{ij}^{tr} – пороговое значение пропускной способности, а $f_{res_{ij}}(t_s)$ – доступный ресурс соответствующего виртуального канала связи. Нагрузка, превышающая допустимую, будет отбрасываться входящим узлом, что позволит избежать возникновения перегрузок внутри балансировочной сети. Указанное ограничение даёт возможность вывести условие эффективности применения наложенной балансировочной сети по сравнению с традиционной маршрутизацией с точки зрения интенсивности передаваемой нагрузки (3).

$$\lambda_{ijLBO}^{IN-np}(t_s) > \lambda_{ijmesh}^{IN-np}(t_s) \Rightarrow \sum_{k \neq i, j} \min \left\{ f_{res_{ik}}(t_s); \frac{f_{res_{kj}}(t_s)}{n-2} \right\} > f_{res_{ij}}(t_s). \quad (3)$$

Здесь $\lambda_{ijLBO}^{IN-np}(t_s)$ – нагрузка, передаваемая наложенной балансировочной сетью, а $\lambda_{ijmesh}^{IN-np}(t_s)$ – средствами традиционной однопутевой маршрутизации.

Узлы наложенной балансировочной сети совершают децентрализованное перераспределение транзитного трафика каждые t_{UPDATE} секунд, составляющие период пересчета распределения нагрузки (или UPDATE-период). Рассчитывая текущий план распределения, каждый узел опирается на актуальные прогнозы входящего трафика во всей сети, полученные при обмене информационными сообщениями с другими участниками, что позволяет избежать запаздывания реакции. При этом процесс изменения интенсивности агрегированного потока трафика на малых временных промежутках, соответствующих UPDATE-периоду, предполагается стационарным в широком смысле.

Доля приоритетного трафика, передаваемого по прямому маршруту, определяется выражением (4).

$$\lambda_{ij}^{out-p}(t_s) = \lambda_{ij}^{IN-p_{pass}}(t_s), \forall j = 0, \dots, n \mid j \neq i. \quad (4)$$

Тогда максимальная интенсивность неприоритетного трафика $\lambda_{ij}^{out-np_{short}}(t_s)$, передаваемого по прямому пути, будет задана выражением (5).

$$\lambda_{ij}^{out-np_{short}}(t_s) = \begin{cases} \lambda_{ij}^{IN-np_{pass}}(t_s), & \text{при } \lambda_{ij}^{IN-np_{pass}}(t_s) < \frac{f_{res_{ij}}(t_s)}{2}, \\ \frac{f_{res_{ij}}(t_s)}{2}, & \text{при } \lambda_{ij}^{IN-np_{pass}}(t_s) \geq \frac{f_{res_{ij}}(t_s)}{2}. \end{cases} \quad (5)$$

При исчерпании доступного ресурса прямого пути на каждый обходной маршрут, проходящий через k -й узел, будет отправлена доля входящего трафика $\lambda_{ij}^{out-np_{round}}(t_s, k)$ с интенсивностью, определяемой выражением (6).

$$\lambda_{ij}^{out-np_{round}}(t_s, k) = \frac{\min \left\{ \frac{f_{res_{ik}}(t_s)}{2}; \frac{f_{res_{kj}}(t_s)}{2n-4} \right\}}{\sum_{k \neq i, j} \min \left\{ \frac{f_{res_{ik}}(t_s)}{2}; \frac{f_{res_{kj}}(t_s)}{2n-4} \right\}} I \left[\lambda_{ij}^{IN-np_{pass}}(t_s) - \frac{f_{res_{ij}}(t_s)}{2} \right], \forall k \neq i, j. \quad (6)$$

Здесь I – фильтрующая функция:

$$I(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq 0, \\ x, & \text{при } x > 0. \end{cases} \quad (7)$$

Отсюда суммарная интенсивность неприоритетного трафика, включая транзитный, проходящего по каналу i - j :

$$\Lambda_{ij}^{out-np}(t_s) = \lambda_{ij}^{out-np_{short}}(t_s) + \sum_{k \neq i, j} \lambda_{ik}^{out-np_{round}}(t_s, j) + \sum_{k \neq i, j} \lambda_{kj}^{out-np_{round}}(t_s, i). \quad (8)$$

В рамках предложенной математической модели можно аналитически оценить загрузку виртуальных каналов между узлами наложенной балансировочной сети относительно заданных допустимых пороговых значений пропускной способности канала с помощью выражения (9).

$$\rho_{ij}(t_s) = \frac{\lambda_{ij}^{out-p}(t_s) + \Lambda_{ij}^{out-np}(t_s)}{\lambda_{ij}^{tr}}. \quad (9)$$

В соответствии с рассчитанным планом распределения нагрузки отдельные потоки трафика, составляющие агрегированный входящий поток, должны быть переведены на соответствующие маршруты. Для оценки математического ожидания интенсивности отдельного потока $E[\lambda_{flow}]$ могут использоваться статистические процедуры. После того, как значение $E[\lambda_{flow}]$ определено, узел может рассчитать общий план распределения потоков (10).

$$m_{ij}(t_s) = \frac{\lambda_{ij}^{out-np}(t_s)}{E_i[\lambda_{flow}]}; \quad m_{ij}(t_s, k) = \frac{\lambda_{ij}^{out-np}(t_s, k)}{E_i[\lambda_{flow}]}. \quad (10)$$

Здесь $m_{ij}(t_s)$ – количество отдельных потоков, идущих по прямому пути, а $m_{ij}(t_s, k)$ – необходимо пустить обходным путем через некоторый узел k .

Для предотвращения возможных осцилляций маршрутов, предложен механизм, основанный на искусственном снижении чувствительности системы распределения потоков к незначительным колебаниям плана распределения нагрузки. Идея процедуры сглаживания осцилляций маршрутов заключается во введении области допустимых колебаний значений D , центром которой является положение вектора Q_s , описывающего существующее распределение потоков (рис. 2). В общем случае вектор распределения потоков имеет размерность n , следовательно, область D представляет собой n -мерный

выпуклый многогранник. Если после пересчета распределения потоков новый вектор Q_{s+1} некоторого направления $i-j$ оказывается в пределах заданной области D , перераспределение маршрутов для текущего направления не производится. Область допустимых колебаний значений задается с помощью соответствующей системы неравенств.

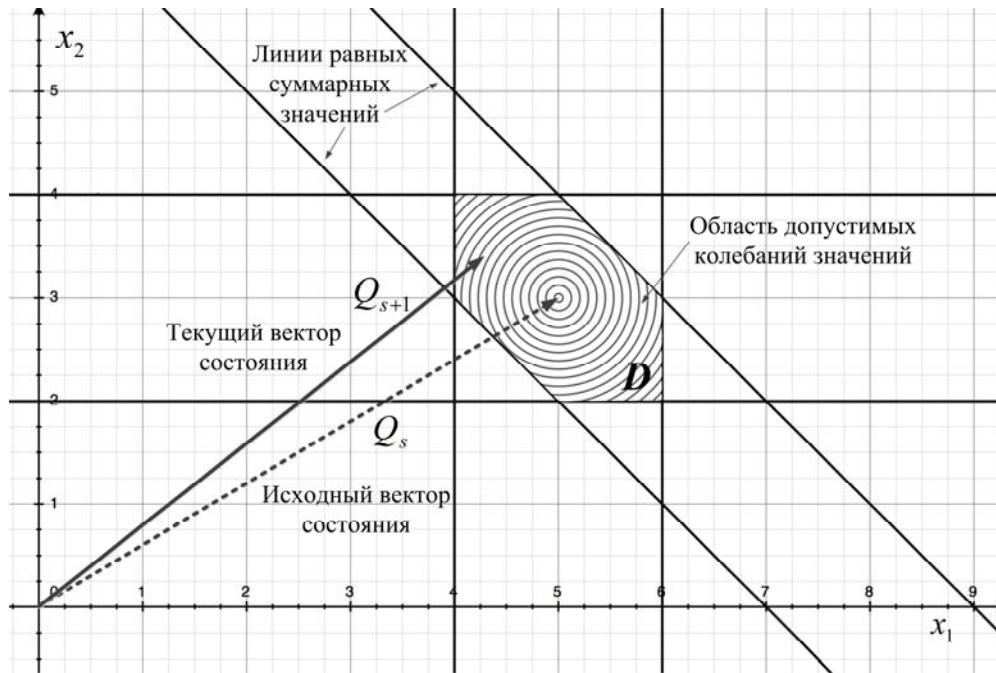


Рисунок 2 – Процедура сглаживания осцилляций

Третья глава посвящена исследованию применимости автоматизированных методов краткосрочного прогнозирования для предсказания тенденций поведения сетевого трафика на малых временных интервалах. Предложено использовать методы, основанные на анализе временных рядов и позволяющие выполнять предсказания в автономном режиме.

В рамках проведённых экспериментов временные ряды, представляющие процессы изменения интенсивности реального сетевого трафика, были подвергнуты статистическому анализу. Обнаружено, что интенсивность сетевого трафика может быть описана логнормальным и вейбулловским распределениями, а сам процесс является самоподобным и персистентным с показателем Хёрста $H \in (0.7, 0.8)$ (рис. 3). Также показано, что стационарность процесса зависит от применяемого временного шага сглаживания. В связи с отсутствием ярко выраженных циклических компонент предложено

использовать для предсказаний модели, не учитывающие сезонность процесса. Рассматривались следующие методы прогнозирования: полиномиальная аппроксимация, полиномиальная экстраполяция, выделение и экстраполяция тренда с помощью формул Спенсера, метод линейного предсказания, основные модели экспоненциального сглаживания.

В качестве исходных данных для экспериментальной проверки указанных методов были использованы образцы реального агрегированного сетевого трафика, имеющие различный характер, что позволило полно оценить эффективность применяемых методов. Выбранным критерием точности служит средняя абсолютная процентная ошибка предсказания (MAPE).

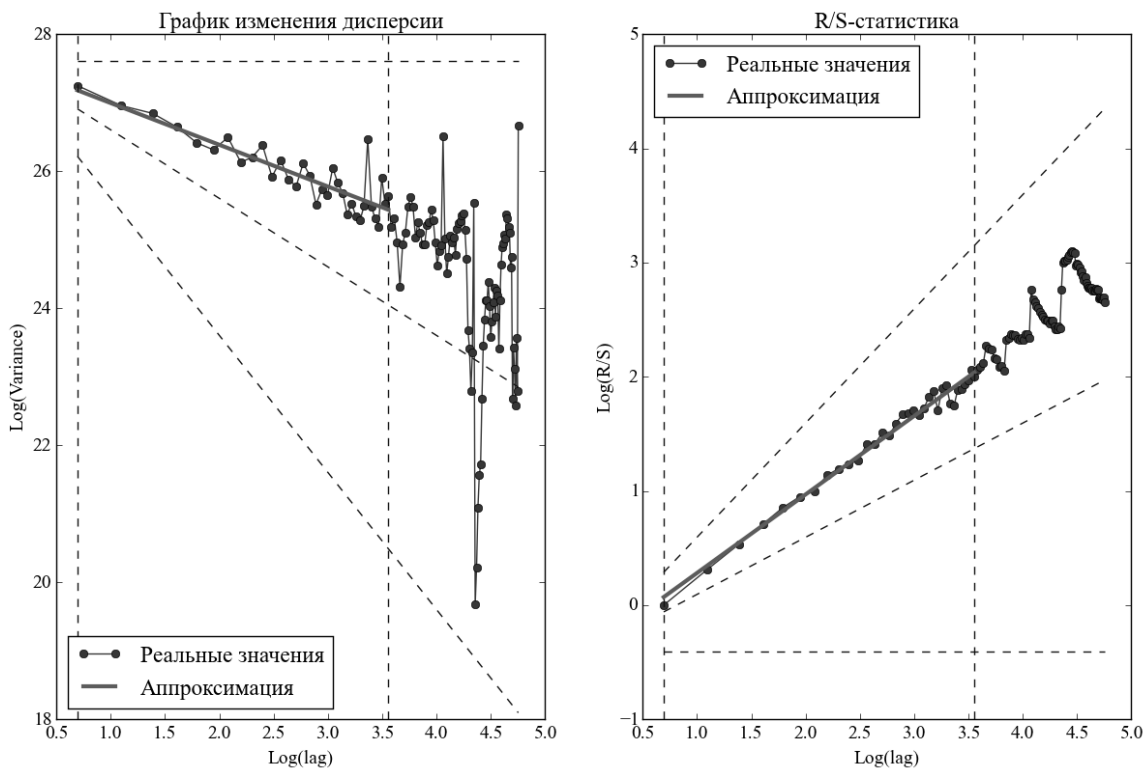


Рисунок 3 – Параметр Хёрста временных рядов интенсивности сетевого трафика

Результаты экспериментальной оценки методов краткосрочного прогнозирования показали, что методом, обеспечивающим наивысшую точность предсказания поведения сетевого трафика со средней процентной ошибкой в районе 20–25 %, является простое экспоненциальное сглаживание (модель N-N) с адаптивным выбором коэффициента сглаживания и интервалом оценки порядка 10–15 точек временного ряда.

Четвертая глава посвящена исследованию параметров и показателей работы наложенной балансировочной сети в различных условиях, а также выработке рекомендаций по её эффективному использованию. На языке Python 2.7 был разработан специализированный высокоуровневый потоковый симулятор, позволяющий моделировать работу наложенной балансировочной сети, а также проводить сравнение основных показателей передачи нагрузки с аналогичной сетью, использующей традиционную маршрутизацию. Алгоритм моделирования работы наложенной балансировочной сети представлен на рисунке 4. Результаты моделирования перегрузок различного характера показали, что интенсивность передаваемой нагрузки с высокой точностью (отклонение модельных величин от расчётных $\leq 1,3\%$) совпадает со значениями, полученными аналитически (2). Это позволяет использовать выражение (3) для оценки эффективности применения наложенной балансировочной сети в реальных условиях.

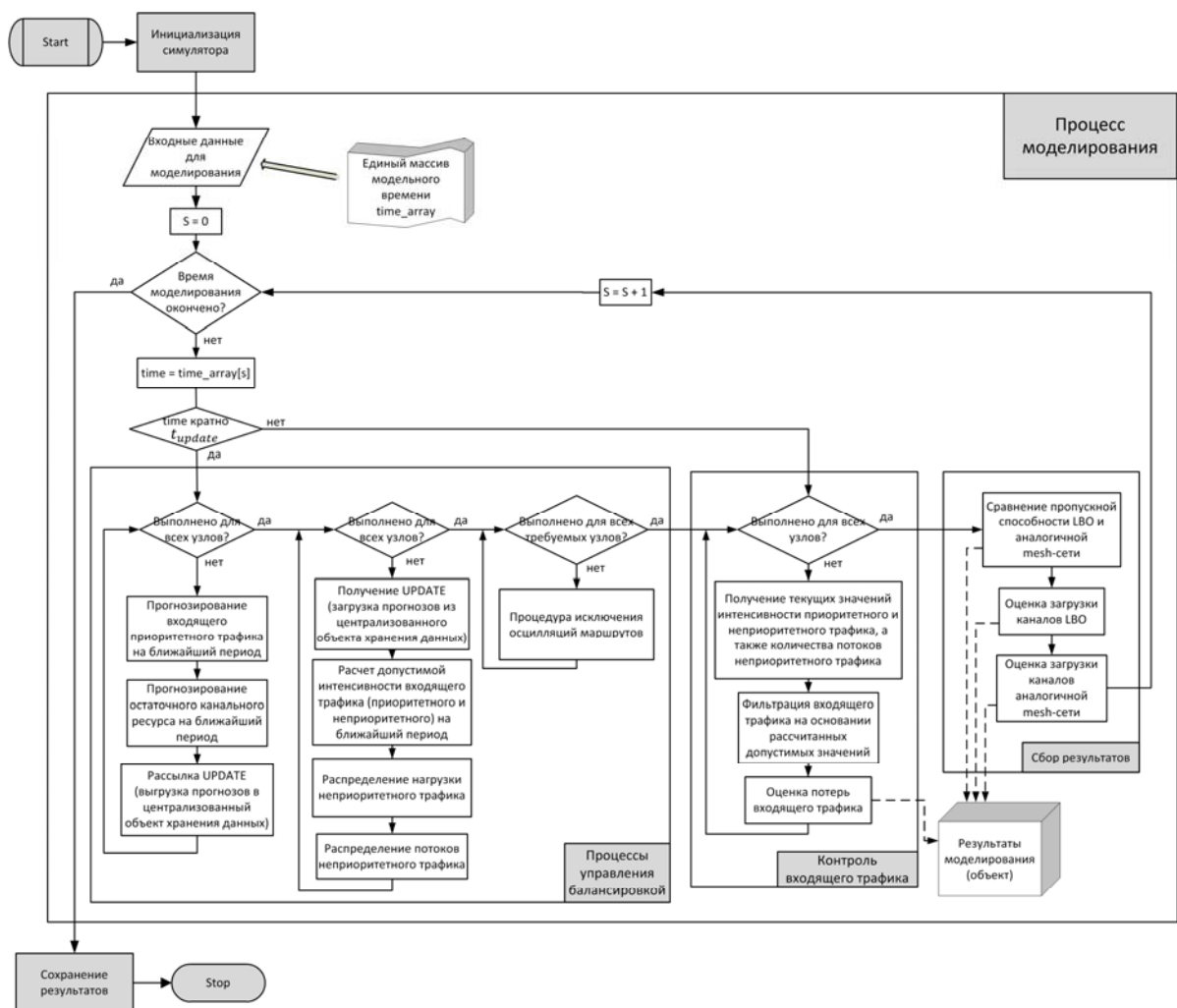


Рисунок 4 – Алгоритм моделирования работы наложенной балансировочной сети

В процессе проведения экспериментов было обнаружено, что частота переноса отдельного потока, позволяющая оценить среднюю длительность пребывания некоторого случайного потока на одном пути, лежит в диапазоне значений от $1,5 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ до $4,8 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Также было исследовано влияние внутренних параметров наложенной балансировочной сети на её функционирование. Оптимальное значение периода пересчета распределения нагрузки в сети (UPDATE-интервал) по результатам моделирования, проведенного на образцах реального сетевого трафика, находится в диапазоне от 30 до 60 секунд (рис. 5–6).

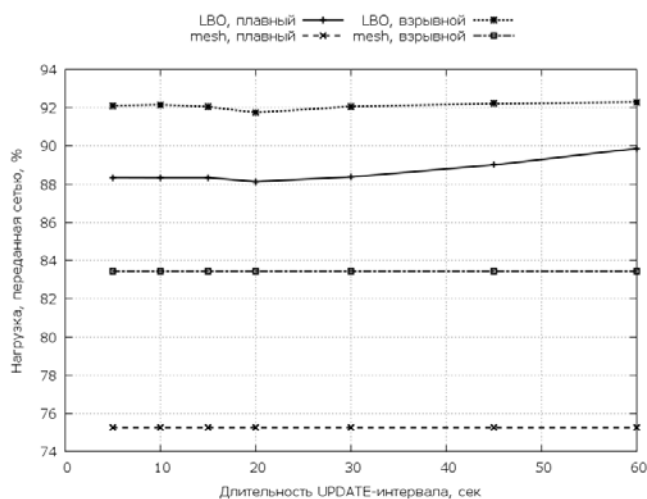


Рисунок 5 – Влияние длительности UPDATE-периода на производительность наложенной балансировочной сети

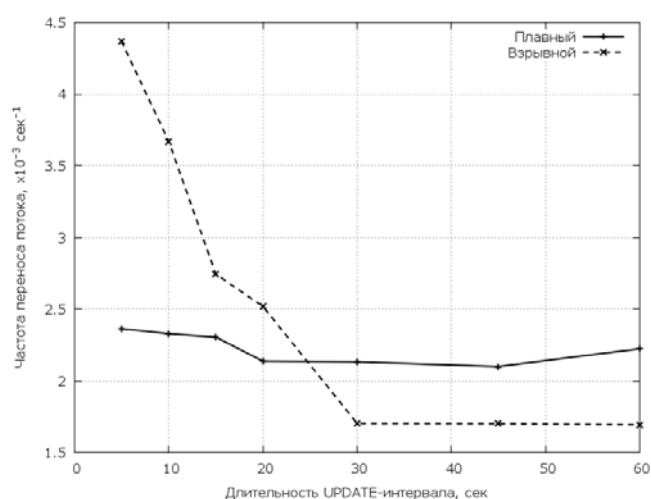


Рисунок 6 – Зависимость частоты переноса отдельных потоков от длительности UPDATE-периода

Ошибки системы прогнозирования снижают возможности передачи трафика на 0,03–0,18 % по сравнению с абсолютно точным прогнозом. В тоже время за счет инерционности системы частота переноса потоков уменьшается (на 7 % и 24 % для медленного и взрывного характера входящей нагрузки, соответственно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы состоят в следующем:

1. На основе проведённого анализа тенденций сетевого трафика установлено, что одной из основных проблем современных сетей связи

является непредсказуемость и стихийный характер возникновения всплесков нагрузок.

2. Предложен метод балансировки трафика на основе децентрализованной самоорганизующейся наложенной балансировочной сети, способной реагировать на изменения сетевых нагрузок в режиме близком к реальному времени. Определены базовые принципы организации наложенной балансировочной сети, а также соответствующие процедуры.

3. Разработана математическая модель оценки возможностей распределения и передачи трафика на основе свойств наложенной балансировочной сети, позволяющая реагировать на кратковременные всплески интенсивности трафика в режиме близком к реальному времени.

4. Определено условие эффективности применения наложенной балансировочной сети по сравнению с традиционной маршрутизацией.

5. Предложен метод сглаживания осцилляций маршрутов, основанный на снижении чувствительности системы распределения трафика к малым колебаниям рассчитанного плана нагрузки.

6. Проведена экспериментальная оценка эффективности автоматизированных методов краткосрочного прогнозирования для предсказания поведения интенсивности сетевого трафика. Показано, что методом, обеспечивающим наивысшую точность прогнозирования в заданных условиях, является простое экспоненциальное сглаживание с адаптивным выбором коэффициента сглаживания.

7. Разработан высокоуровневый потоковый симулятор, позволивший провести моделирование работы наложенной балансировочной сети в условиях передачи нагрузок различного характера.

8. Разработаны рекомендации по выбору параметров, обеспечивающих эффективное функционирование наложенной балансировочной сети.

9. Показано, что отклонение полученных в результате моделирования интенсивностей потоков в сети составляет не более 1,3% от рассчитанных аналитически значений.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Дорт-Гольц, А.А. Анализ функционирования наложенных сетей в сетях операторов / А.А. Дорт-Гольц // Электросвязь. – 2013. – № 3. – С. 22–26 (*из перечня ВАК*).
2. Дорт-Гольц, А.А. Модель управления трафиком наложенной балансировочной сети / А.А. Дорт-Гольц // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – № 1.1 (55). – С. 136–140 (*из перечня ВАК*).
3. Дорт-Гольц, А.А. Исследование эффективности работы наложенной балансировочной сети в условиях нагрузок различного типа / А.А. Дорт-Гольц // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – № 3 (57). – С. 75–80 (*из перечня ВАК*).
4. Дорт-Гольц, А.А. Анализ протоколов наложенных пиринговых сетей [Электронный ресурс] / А.А. Дорт-Гольц // II МНТНМК «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». – СПб.: СПбГУТ, 2013. – С. 113–118. – Режим доступа: http://www.sut.ru/doci/nauka/sbornic_confsut_2013_no_cory.pdf.
5. Дорт-Гольц, А.А. Анализ трафика анонимных сетей / А.А. Дорт-Гольц // Материалы 68 НТК СПбНТОРЭС. – СПб., 2013. – С. 98–101.
6. Дорт-Гольц, А.А. Базовые модели сетевых устройств агрегации трафика / А.А. Дорт-Гольц, О.А. Симонина // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2013. – № 2. – С. 13–19.
7. Дорт-Гольц, А.А. Анализ эффективности методов краткосрочного прогнозирования сетевого трафика / А.А. Дорт-Гольц // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 2 (6). – С. 12–19.
8. Дорт-Гольц, А.А. Архитектура симулятора наложенной балансировочной сети / А.А. Дорт-Гольц // Материалы 69 НТК СПбНТОРЭС. – СПб., 2014. – С. 164–166.
9. Дорт-Гольц, А.А. Механизм управления трафиком посредством балансировки в сетях NGN / А.А. Дорт-Гольц, О.А. Симонина // Информационные телекоммуникационные сети. – 2014. – № 5–6 (93–94). – С. 41–45.
10. Dort-Golts, A. Load balancing algorithm exploiting overlay techniques / A. Dort-Golts, O. Simonina // Advanced Communication Technology (ICACT), 2014 16th International Conference on. – IEEE, 2014. – С. 912–920.
11. Dort-Golts, A. Short-Term Forecasting: Simple Methods to Predict Network Traffic Behavior / A. Dort-Golts // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. – Springer International Publishing, 2014. – С. 375–388.