

# МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ МОНИТОРИНГА СЕТЕВОГО ТРАФИКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Симонова К. О.<sup>1</sup>

DOI:10.21681/3034-4050-2026-1-33-41

**Ключевые слова:** мультисервисные сети, качество обслуживания, системы массового обслуживания, самоподобный трафик, оптимизация.

## Аннотация

**Целью исследования** является разработка и анализ математической модели, описывающей влияние мониторинга параметров сетевого трафика и показателей качества обслуживания на эффективность функционирования мультисервисной сети передачи данных при использовании различных сетевых механизмов.

**Метод исследования:** в работе применяются аналитическое и имитационное моделирование процессов передачи данных в сетевых устройствах, статистический анализ параметров трафика, а также методы оптимизации распределения потоков и ресурсов с ограничениями на управляемые параметры. Для идентификации характеристик трафика использованы критерии согласия Пирсона и Колмогорова, а также параметр Херста как мера самоподобия.

**Результаты исследования:** разработана математическая модель функционирования сети передачи данных с учетом служебного трафика мониторинга, аппроксимированы зависимости средней задержки от нагрузки и параметра Херста, получены аналитические выражения, позволяющие оценивать эффективность функционирования сети при различных сетевых механизмах распределения потоков. Показано, что ошибки мониторинга в пределах диапазона параметра Херста  $H = 0,5 - 0,75$  незначительно влияют на оптимальное распределение потоков, но существенно изменяют абсолютные значения задержек, что важно при реализации механизмов предотвращения перегрузок.

**Научная новизна:** заключается в разработке комплексной модели, объединяющей процессы мониторинга, анализа трафика и оптимизации сетевых механизмов, а также в предложении новых аппроксимационных зависимостей, связывающих параметры самоподобного трафика с показателями качества обслуживания. Это позволяет аналитически оценивать влияние точности мониторинга на эффективность функционирования мультисервисной сети передачи данных.

## Введение

В современных условиях цифровизации всех сфер деятельности наблюдается стремительный рост объемов передаваемой информации и усложнение структуры сетей передачи данных. Современные телекоммуникационные системы объединяют разнородные сервисы – от голосовой и видеоинформации до потоков данных, критичных к задержкам, таких как управление беспилотными и роботизированными платформами. В результате сети передачи данных превращаются в мультисервисные системы (СПД), которым необходимо обеспечивать надежную и устойчивую работу при резком изменении характера и интенсивности трафика.

Одним из ключевых показателей эффективности функционирования сетей является качество обслуживания (Quality of Service, QoS), которое отражает совокупность характеристик, определяющих возможность предоставления пользователям требуемого уровня сервиса. Для поддержания заданного QoS в условиях динамично изменяющихся параметров сети используются различные сетевые механизмы – распределение потоков данных по маршрутам, балансировка нагрузки, управление очередями, приоритизация и механизмы предотвращения перегрузок. Эти механизмы функционируют в тесной связи с системой мониторинга, которая обеспечивает сбор, обработку и анализ информации о параметрах трафика и состоянии сети.

<sup>1</sup> Симонова Карина Олеговна, адъюнкт кафедры «Сети связи и системы коммутации» Военная академия связи им. С. М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: desire\_8912@bk.ru

Мониторинг сетевого трафика в современных СПД выполняет не только функцию наблюдения, но и становится активным элементом контура управления. Результаты мониторинга позволяют в реальном времени корректировать параметры сетевых механизмов, распределять ресурсы, изменять маршрутизацию и адаптировать систему к изменяющимся условиям функционирования. Таким образом, мониторинг формирует основу для интеллектуального управления сетями нового поколения, основанного на принципах адаптивности, прогнозирования и самооптимизации. [1]

Однако при всех преимуществах таких подходов остается нерешенной важная проблема – влияние точности мониторинга функционирования сети. Ошибки в измерении параметров трафика, особенно в условиях высокой вариабельности мультимедийных потоков, могут приводить к некорректной настройке сетевых механизмов, ошибочному распределению потоков данных и, как следствие, к ухудшению качества обслуживания. Наиболее чувствительными к погрешностям мониторинга оказываются параметры, описывающие статистическую природу трафика – его интенсивность, распределение межпакетных интервалов и степень самоподобия, характеризующую параметром Херста ( $H$ ).

Современные исследования показывают, что мультимедийный трафик обладает выраженным свойством самоподобия: его колебания сохраняются на различных временных масштабах, что делает его существенно отличным от традиционных потоков, описываемых экспоненциальными или пуассоновскими распределениями [2–5]. Для адекватного описания поведения таких потоков применяются распределения Парето, Вейбулла и логнормальное распределение, которые позволяют учитывать тяжелые хвосты и фрактальную структуру трафика. При этом классические методы анализа сетевой производительности, основанные на простых марковских предположениях, не способны корректно оценивать поведение самоподобных процессов.

В рамках данного исследования предлагается комплексная модель влияния мониторинга сетевого трафика и качества обслуживания на эффективность функционирования сети передачи данных при использовании различных сетевых механизмов. Модель сочетает элементы теории массового обслуживания, методов статистического анализа и оптимизации.

Она описывает взаимосвязь между параметрами мониторинга (интенсивностью, функцией распределения, параметром Херста), управляемыми характеристиками сетевых механизмов и результирующими показателями QoS – в первую очередь средней задержкой, вариацией задержки и вероятностью потери пакетов.

Результаты работы имеют практическое значение для проектирования систем связи, обеспечивающих устойчивое функционирование при высокой изменчивости трафика и воздействии внешних факторов. Реализация разработанной модели позволяет не только повысить точность оценки состояния сети, но и оптимизировать работу сетевых механизмов, минимизировать задержки передачи и увеличить общую пропускную способность без необходимости значительного увеличения аппаратных ресурсов.

Таким образом, разработка модели влияния мониторинга сетевого трафика и качества обслуживания на эффективность функционирования сети передачи данных является актуальным направлением исследований, направлением исследований, направленным на создание адаптивных и интеллектуальных систем связи, способных к самоорганизации и устойчивому функционированию в условиях неопределенности.

### Математическая модель функционирования сети

Разработка модели влияния мониторинга сетевого трафика и качества обслуживания на эффективность функционирования сети передачи данных предполагает формализацию взаимосвязей между наблюдаемыми параметрами трафика, характеристиками сетевых механизмов и результирующими показателями QoS. В отличие от традиционных подходов, в которых данные мониторинга используются лишь для регистрации состояния сети, в предлагаемой концепции они становятся активным элементом системы управления, непосредственно влияющим на перераспределение потоков данных и ресурсов.

В основе построения модели лежит идея представления сети передачи данных как мультиагентной системы, состоящей из совокупности взаимосвязанных элементов (узлов, каналов, маршрутов), каждый из которых может адаптировать свои параметры в зависимости от текущего состояния трафика. Такая система функционирует под воздействием

множества факторов, включая внутренние процессы (нагрузку, очереди, производительность узлов) и внешние воздействия (помехи, ошибки мониторинга, изменение маршрутов).

Для формального описания функционирования СПД в работе используется аппарат теории массового обслуживания (СМО), что позволяет учитывать вероятностный характер процессов поступления, обработки и передачи данных. При этом ключевым отличием модели является учёт самоподобных свойств трафика, которые проявляются в виде фрактальных зависимостей и тяжёлых хвостов распределений межпакетных интервалов [6, 7]. Такие свойства невозможно корректно описать с использованием классических пуассоновских моделей, что требует введения обобщённых функций распределения, например, распределений Вейбулла, Парето или логнормального распределения.

Для учёта влияния мониторинга вводится дополнительный параметр – точность измерений, определяющая степень отклонения наблюдаемых данных от истинных характеристик трафика. Ошибки мониторинга проявляются в виде искажений интенсивности потоков, неточности оценки параметра Хёрста, а также неверной идентификации типа распределения межпакетных интервалов. Эти искажения влекут за собой изменения в расчётах нагрузки на каналы, величины задержки, вероятности потерь и других метрик QoS.

Таким образом, разработка математической модели должна учитывать следующие ключевые положения:

1. Нагрузка на сеть определяется не только характеристиками трафика, но и точностью мониторинга.
2. Показатели качества обслуживания зависят от реальных и измеренных параметров потоков.
3. Оптимальные управляемые параметры сетевых механизмов (например, доли распределения трафика по маршрутам) изменяются при учёте ошибок мониторинга.

Для описания этих взаимосвязей необходимо ввести систему уравнений, связывающих интенсивности потоков данных, пропускные способности каналов, управляемые параметры механизмов распределения и результаты мониторинга. Введём обозначение (1):

$$S_{\text{СПД}}(A, B, \Lambda, Z, Q), \quad (1)$$

где:  $A$  – множество узлов,  $B$  – множество ребер,  $\Lambda$  – интенсивность потоков данных,  $Z$  – управляемые параметры,  $Q$  – показатели качества обслуживания.

Нагрузка на каждый маршрут определяется соотношением (2):

$$\rho_l = \lambda_l / \mu_l, \mu_l = g_l / V, g_l = \min_{r \in R_l} g_{rl}, \quad (2)$$

где:  $\rho_l$  – интенсивность потока данных,  $\mu_l$  – интенсивность обслуживания,  $g_{rl}$  – пропускные способности ребер.

Для оценки общей эффективности функционирования сети целесообразно использовать интегральный показатель качества обслуживания, отражающий совокупное влияние всех маршрутов и механизмов распределения (3):

$$Q(q) = \sum_{k=1}^K \beta_k \cdot T_k, T_k = \sum_{m \in M_k} \alpha_{km} \cdot \tau_m, \quad (3)$$

где:  $T_k$  – усредненная задержка для  $k$ -го типа трафика,  $\beta_k$  – весовой коэффициент его приоритета,  $\alpha_{km}$  – доля потока, проходящая через маршрут  $m$ ,  $\tau_m$  – среднее время задержки на данном маршруте.

Средняя задержка, в свою очередь, выражается зависимостью (4):

$$\tau_l = (q_l(\rho_l) + 1) / \mu_l. \quad (4)$$

Эти выражения формируют основу математической модели функционирования СПД, в которой мониторинг выступает в роли механизма, обеспечивающего адаптацию управляемых параметров сети на основе текущих наблюдений. В дальнейшем данная модель будет расширена с учётом аппроксимационных зависимостей показателей QoS от параметра Хёрста и ошибок мониторинга, что позволит аналитически оценить влияние точности измерений на эффективность функционирования сети.

### Модель мониторинга параметров трафика и качества обслуживания

Одним из ключевых факторов, влияющих на точность работы сетевых механизмов управления, является качество мониторинга параметров сетевого трафика. Мониторинг выполняет не только информационную, но и управляющую функцию, обеспечивая обратную связь между текущим состоянием сети и системой принятия решений. В предлагаемой модели процесс мониторинга рассматривается как элемент, непосредственно участвующий в управлении потоками данных и влияющий на показатели качества обслуживания (QoS).

Для корректного выбора механизмов распределения трафика требуется информация о статистических характеристиках потока, включая интенсивность поступления пакетов, распределение межпакетных интервалов и коэффициент самоподобия. Эти характеристики формируются на основании данных мониторинга и определяют входные параметры математической модели функционирования сети.

### 1. Контролируемые параметры сетевого трафика

Мониторинг должен обеспечивать измерение и оценку следующих параметров:

- интенсивность потока ( $\lambda$ ) — среднее количество пакетов, поступающих в сеть за единицу времени;
- распределение межпакетных интервалов ( $p(t)$ ) — функция плотности вероятности, определяющая характер поступления пакетов;
- параметр Хёрста ( $H$ ) — мера самоподобия, отражающая фрактальную структуру трафика.

Эти параметры определяются по данным выборок, получаемых в процессе наблюдения, и подвержены ошибкам, обусловленным как ограниченным временем измерений, так и случайными внешними воздействиями. Таким образом, реальные значения параметров  $\hat{\lambda}$ ,  $\hat{H}$ ,  $\hat{p}(t)$ , полученные мониторингом, могут отличаться от истинных, что влечёт за собой искажения в расчётах нагрузки и показателей QoS.

### 2. Идентификация распределений и статистический анализ

Для оценки соответствия наблюдаемых выборок теоретическим моделям распределений межпакетных интервалов используются критерии согласия Пирсона ( $\chi^2$ ) и Колмогорова. Эти критерии позволяют определить степень близости эмпирической функции распределения  $F_n(x)$  к теоретической функции  $F(x)$ , что даёт возможность идентифицировать тип трафика и применить соответствующую аналитическую модель.

В рамках исследования рассматривались четыре наиболее распространённых типа распределений, описывающих поведение трафика в мультисервисных сетях:

- экспоненциальное распределение, характерное для потоков с равномерным поступлением пакетов;

- распределение Вейбулла, применяемое для описания слабо самоподобных потоков;
- распределение Парето, отражающее высокую степень самоподобия и наличие «тяжёлых хвостов»;
- логнормальное распределение, описывающее сложные нелинейные процессы в мультимедийном трафике.

Результаты вычислительных экспериментов показали, что при параметре  $H = 0,75$  критерий  $\chi^2$  является более чувствительным к различиям распределений, чем критерий Колмогорова. Это позволяет точнее определять модель трафика и выбирать соответствующую аппроксимацию для расчёта задержек и загрузки сети.

### 3. Аппроксимационные зависимости показателей QoS

На основании результатов анализа были получены аппроксимационные зависимости, связывающие параметры трафика с показателями QoS. Среднее относительное время ожидания (задержка) выражается как:

$$q_a = \frac{c(H) \cdot (\rho - \rho_0)^{a(H)}}{(1 - \rho)^{b(H)}}, \quad (5)$$

где  $\rho$  — относительная нагрузка, а параметры  $a(H)$ ,  $b(H)$  и  $c(H)$  зависят от коэффициента самоподобия:

$$\begin{aligned} a(H) &= d_a + e_a H, \\ b(H) &= \frac{d_b + e_b H}{1 - H}, \\ c(H) &= \frac{d_c + e_c H}{1 - H}. \end{aligned} \quad (6)$$

Эти зависимости позволяют описать характер изменения задержек при изменении нагрузки и учитывать влияние фрактальных свойств трафика. При увеличении параметра Хёрста наблюдается рост дисперсии межпакетных интервалов, что приводит к увеличению средней задержки и снижению устойчивости системы при высокой нагрузке.

Таким образом, предложенная аппроксимационная модель обеспечивает аналитическую взаимосвязь между измеряемыми параметрами мониторинга и показателями качества обслуживания. Это даёт возможность проводить прогнозирование поведения сети при различных сценариях нагрузки без необходимости проведения длительных имитационных экспериментов.



#### 4. Мониторинг QoS и адаптивное управление

На основании полученных зависимостей можно реализовать динамическую систему адаптивного управления. В этой системе результаты мониторинга (измеренные значения  $\hat{\lambda}$ ,  $\hat{H}$ ,  $\hat{p}(t)$ ) используются для вычисления прогнозных значений QoS-показателей – задержки ( $\tau$ ), вероятности потерь ( $P_{loss}$ ) и пропускной способности ( $C_{eff}$ ). Если наблюдаемые значения QoS отклоняются от допустимых, выполняется перераспределение потоков данных и ресурсов с помощью механизмов балансировки нагрузки.

Таким образом, модель мониторинга параметров трафика и качества обслуживания выполняет две функции:

1. Диагностическую – обеспечивает анализ текущего состояния сети и выявление отклонений от нормативных значений QoS;
2. Прогностическую – позволяет заранее оценивать последствия изменений параметров трафика и корректировать стратегию управления.

Данная модель мониторинга создаёт основу для последующего построения оптимизационной модели распределения потоков и ресурсов, в которой данные мониторинга используются как входные переменные. Это позволяет рассматривать мониторинг не как вспомогательный процесс, а как активный элемент контура управления, определяющий эффективность функционирования сети передачи данных в целом.

#### Оптимизация распределения потоков и ресурсов в условиях неточного мониторинга

Разработанные модели мониторинга параметров трафика и качества обслуживания позволяют использовать полученные данные для оптимизации распределения потоков данных и ресурсов сети. Цель оптимизации состоит в минимизации средней задержки передачи данных при заданных ограничениях на доступные ресурсы и уровне допустимых ошибок мониторинга. [6, 7]

В мультисервисных сетях передача данных осуществляется по нескольким маршрутам, которые могут иметь различную пропускную способность, задержку и надёжность. Для каждого маршрута определяются интенсивность потока  $\lambda_i$ , доля выделенных ресурсов  $\gamma_i$ , а также относительная нагрузка  $\rho_i = \lambda_i / \mu_i$ , где  $\mu_i$  – интенсивность обслуживания. Оптимальное

распределение трафика должно учитывать как реальные характеристики сети, так и измеренные значения параметров, полученные в процессе мониторинга.

#### 1. Постановка задачи оптимизации

Функционирование сети описывается интегральным показателем эффективности – средней задержкой передачи данных, выражаемой как:

$$T_0 = \frac{1}{\mu} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{\gamma_i} (q(\rho_i) + 1), \quad (7)$$

где  $\alpha_i$  – доля потока данных, направляемого по  $i$ -му маршруту,  $\gamma_i$  – доля выделенных ресурсов, а  $q(\rho_i)$  – функция относительного времени ожидания, аппроксимированная в предыдущем разделе.

Задача оптимизации формулируется как поиск такого вектора управляемых параметров:

$$Z^* = \{\alpha_i, \gamma_i\}, \quad (8)$$

при котором достигается минимум интегрального показателя:

$$T_0(Z^*) = \min_Z T_0(Z), \quad (9)$$

при соблюдении ограничений на ресурсы и условия балансировки потоков:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \sum_{i=1}^n \gamma_i = 1, \alpha_i, \gamma_i \geq 0. \quad (10)$$

Задача относится к классу нелинейных задач оптимизации с ограничениями, так как функция  $q(\rho_i)$  имеет нелинейную зависимость от нагрузки и параметра Хёрста. Для её решения могут применяться как аналитические методы (метод Лагранжа), так и численные методы (градиентные и итерационные алгоритмы).

#### 2. Влияние ошибок мониторинга на процесс оптимизации

В реальных условиях параметры  $\lambda_i$ ,  $\mu_i$ ,  $H$  определяются не точно, а с некоторой погрешностью, обусловленной ограниченной точностью мониторинга. Пусть измеренные значения параметров обозначены как  $\hat{\lambda}_i$ ,  $\hat{H}$ . Тогда реальная функция времени ожидания принимает вид:

$$\hat{q}_a = \frac{c(\hat{H}) \cdot (\hat{\rho} - \hat{\rho}_0(\hat{H}))^{a(\hat{H})}}{(1 - \hat{\rho})^{b(\hat{H})}}, \quad (11)$$

где параметры  $\hat{a}$ ,  $\hat{b}$ ,  $\hat{c}$  определяются по аппроксимационным формулам, аналогичным (2)–(4), но с ошибочными значениями  $\hat{H} = H + \Delta H$ .

Анализ показывает, что ошибки в параметре Хёрста ( $\Delta H = \pm 0,05 \dots 0,1$ ) и в интенсивности трафика ( $\Delta \lambda = \pm 5\%$ ) не оказывают значительного влияния на форму оптимального распределения потоков ( $\alpha_i^*$ ), однако приводят к смещению абсолютных значений задержки ( $T_0$ ) на величину до 20–30 %. Это означает, что оптимальные доли маршрутов остаются устойчивыми, но абсолютное качество обслуживания может ухудшиться из-за роста очередей и изменения пропускной способности при перегрузках.

Для учёта ошибок мониторинга в модели вводится корректирующий множитель точности:

$$K_m = 1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_0}, \quad (12)$$

где  $\sigma_m$  — среднеквадратическое отклонение измеряемых параметров от истинных значений, а  $\sigma_0$  — нормативная точность мониторинга. При  $K_m < 0,9$  система должна переходить в режим стабилизации — перераспределяя ресурсы в сторону более надёжных маршрутов, не требующих высокой точности оценки трафика.

### 3. Механизм адаптивного перераспределения потоков

В условиях динамического изменения параметров трафика и возможных ошибок мониторинга применяется итерационная процедура перераспределения потоков. Она реализуется следующим образом:

1. На основании текущих данных мониторинга вычисляются значения интенсивностей  $\hat{\lambda}_i$ , нагрузок  $\hat{\rho}_i$  и параметра  $\hat{H}$ .
2. Производится расчёт оптимальных долей потоков  $\alpha_i^{(k)}$  и ресурсов  $\gamma_i^{(k)}$  по формуле (8).
3. Выполняется проверка критерия устойчивости:

$$|T_0^{(k)} - T_0^{(k-1)}| < \varepsilon, \quad (13)$$

где  $\varepsilon$  — допустимая погрешность.

### 4. Оценка эффективности функционирования сети

Для количественной оценки эффективности сети при различных уровнях точности мониторинга введён интегральный критерий эффективности:

$$E = \frac{Q_{ref}}{Q_{real}} \cdot K_m, \quad (14)$$

где  $Q_{ref}$  — эталонное значение показателя качества обслуживания (например, при идеальном

мониторинге),  $Q_{real}$  — значение при текущем уровне точности измерений.

Если  $E \geq 0,9$ , сеть функционирует в оптимальном режиме; если  $E < 0,7$ , требуется корректировка параметров или усиление мониторинга.

Моделирование показало, что при снижении точности мониторинга на 10 % интегральная эффективность уменьшается не более чем на 5 %, однако при погрешности свыше 25 % эффективность снижается на 20–25 %. Это подтверждает, что для устойчивой работы сетевых механизмов требуется поддержание точности мониторинга не ниже 75–80 % от номинального уровня.

Таким образом, предложенная модель оптимизации распределения потоков и ресурсов в условиях неточного мониторинга обеспечивает комплексный учёт параметров трафика, характеристик сети и ошибок измерений. Она позволяет формировать устойчивые управленческие решения, направленные на поддержание требуемого качества обслуживания при ограниченных ресурсах и неполной информации о состоянии сети.

В дальнейшем данная модель может служить основой для построения интеллектуальных систем управления мультисервисными сетями, способных к самоадаптации и прогнозируемому контролю качества обслуживания в реальном времени.

### Результаты исследования и выводы

Проведённые исследования позволили разработать и обосновать математическую модель, описывающую влияние мониторинга параметров сетевого трафика и качества обслуживания на эффективность функционирования мультисервисной сети передачи данных при использовании различных сетевых механизмов. Модель объединяет в себе процессы измерения и анализа параметров трафика, прогнозирования показателей QoS и оптимизации распределения потоков данных и ресурсов.

Рассмотренная в работе концепция исходит из предположения, что мониторинг должен рассматриваться не как пассивная подсистема наблюдения, а как активный элемент контура управления, определяющий эффективность функционирования сети в целом. Именно точность мониторинга параметров трафика, таких как интенсивность потока, распределение межпакетных интервалов и параметр Хёрста, оказывает определяющее

влияние на корректность принимаемых решений в механизмах распределения нагрузки и предотвращения перегрузок.

Результаты аналитического и имитационного моделирования показали, что при изменении точности мониторинга в пределах 10–15 % отклонение интегральных показателей эффективности функционирования сети не превышает 5 %. При этом распределение потоков данных по маршрутам остаётся практически неизменным, что свидетельствует о высокой устойчивости оптимизационного решения к незначительным ошибкам мониторинга. [4, 6, 7]

Однако при увеличении погрешности измерений параметров трафика до 25–30 % наблюдается значительное ухудшение показателей качества обслуживания – средняя задержка возрастает на 20–25 %, а вероятность потери пакетов увеличивается более чем в 1,5 раза. Особенно чувствительными оказываются сети с высокой степенью самоподобия трафика (параметр Хёрста  $H > 0.7$ ), для которых флуктуации нагрузки носят квазипостоянный характер, и ошибки мониторинга приводят к накоплению ошибок при прогнозировании QoS.

На основе предложенной модели получены следующие количественные и качественные результаты:

- разработаны аналитические зависимости, связывающие параметры трафика и точность мониторинга с показателями QoS (задержкой, пропускной способностью и вероятностью потерь);
- установлено, что параметр Хёрста оказывает существенное влияние на динамику нагрузки и должен учитываться при проектировании алгоритмов адаптивного управления;
- показано, что оптимизация распределения потоков данных по маршрутам возможна в режиме реального времени при использовании аппроксимационных зависимостей, построенных на основе данных мониторинга;
- доказано, что ошибки мониторинга до 10–15 % не влияют на структуру оптимального распределения потоков, однако снижают абсолютные показатели эффективности сети на 5–8 %;

- определено, что при уровне ошибок выше 25 % эффективность функционирования сети снижается не менее чем на 20 %, что требует внедрения механизмов компенсации и самокоррекции мониторинга.

Предложенная модель обеспечивает аналитическую оценку влияния мониторинга на показатели эффективности работы сети и может использоваться для обоснования требований к точности измерений параметров трафика. На её основе возможно формирование интеллектуальной системы адаптивного управления, способной в реальном времени корректировать параметры сетевых механизмов с учётом изменений нагрузки и погрешностей мониторинга.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что предложенные зависимости и алгоритмы могут быть использованы при проектировании и эксплуатации мультисервисных сетей связи специального назначения, в том числе в системах управления беспилотными аппаратами, военных сетях передачи данных и критически важных инфраструктурах, где надёжность и своевременность обмена информацией имеют первостепенное значение.

В перспективе данная модель может быть расширена для учёта дополнительных факторов – вероятностных потерь пакетов при помехах, влияния протоколов транспортного уровня, стохастических свойств внешних воздействий, а также для интеграции с технологиями искусственного интеллекта, применяемыми в интеллектуальных системах мониторинга и адаптивного управления.

Таким образом, разработанная модель влияния мониторинга сетевого трафика и качества обслуживания на эффективность функционирования сети передачи данных позволяет не только повысить точность оценки параметров функционирования сети, но и обеспечить повышение устойчивости и производительности за счёт оптимизации использования доступных ресурсов. Она является основой для построения новых систем управления мультисервисными сетями, ориентированных на принципы самонастройки, самоорганизации и предиктивного контроля в условиях неопределённости.

## Литература

1. Белов Д. В., Сафронов Е. И. Методы мониторинга и анализа сетевого трафика в мультисервисных системах связи. // Телекоммуникации. – 2021. – № 6. – С. 14–21.
2. Одоевский С. М., Симонова К. О., Зизевский В. А. Анализ влияния точности мониторинга параметров сетевого трафика на качество его обслуживания // Техника средств связи. – 2024. – № 4(168). – С. 8–19.
3. Иванов А. А., Сидоров П. Н., Аналитические модели очередей в мультисервисных сетях передачи данных // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2021. – Т. 9, № 4. – С. 45–54.
4. Кузьмин Д. В., Орлов С. Е. Моделирование задержек и перегрузок в сетях передачи данных при высокой нагрузке // Вестник связи. – 2022. – № 6. – С. 32–40.
5. Одоевский С. М., Симонова К. О., Зизевский В. А. Оценка степени влияния точности мониторинга сетевого трафика на качество его обслуживания в сетях связи военного назначения методами имитационного моделирования // Третья всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в военной сфере «Имитационное моделирование систем военного назначения, действий войск и процессов их обеспечения» («ИМСВН-2024»). Труды конференции. – Санкт-Петербург: ВА МТО; Москва: РИОР, 2024. – 380 с. – ISBN 978-5-369-02166-8. С. 275–285.
6. Бердюгин А. В., Ковалев С. Н. Аналитическая модель влияния мониторинга на эффективность сетей передачи данных. // Научный вестник ВАС. – 2023. – № 2. – С. 40–48.
7. Одоевский С. М., Зизевский В. А., Рафальская М. И. Аппроксимация статистических характеристик процесса обслуживания мультимедийного трафика на основе логнормального распределения // Радиолокация, навигация, связь. Сборник трудов XXX Международной научно-технической конференции. В 5-ти томах. Воронеж, 2024. С. 96–105.

## NETWORK TRAFFIC MONITORING IMPACT MODEL AND EFFICIENCY ON THE NETWORK DATA TRANSFERS

Simonova K. O.<sup>2</sup>

**Keywords:** multiservice networks, quality of service, queuing systems, self-similar traffic, optimization.

### Abstract

**The purpose of the study** is to develop and analyze a mathematical model that describes the impact of monitoring network traffic parameters and quality of service indicators on the efficiency of the multiservice data transmission network using various network mechanisms.

**Research method:** analytical and simulation modeling of data transmission processes in network devices, statistical analysis of traffic parameters, as well as methods for optimizing the distribution of flows and resources with restrictions on control parameters are used in the work. To identify the characteristics of traffic, the criteria of agreement of Pearson and Kolmogorov, as well as the Hirst parameter as a measure of self-similarity, are used.

**Results of the study:** a mathematical model of the functioning of the data transmission network taking into account the service traffic of the monitoring was developed, the dependencies of the average delay on the load and the Hurst parameter were approximated, analytical expressions were obtained that allow assessing the efficiency of the network functioning under various network mechanisms of flow distribution. It is shown that monitoring errors within the range of the Hurst parameter  $H = 0.5 - 0.75$  insignificantly affect the optimal distribution of flows, but significantly change the absolute values of delays, which is important when implementing overload prevention mechanisms.

**Scientific novelty** consists in the development of a comprehensive model that combines the processes of monitoring, traffic analysis and optimization of network mechanisms, as well as in the proposal of new approximation dependencies that link the parameters of self-similar traffic with the indicators of service quality. This allows us to analytically assess the impact of monitoring accuracy on the efficiency of the multiservice data transmission network.

<sup>2</sup> Karina O. Simonova, Adjunct of the Department of Communication Networks and Switching Systems, S. M. Budenny Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia.  
E-mail: desire\_8912@bk.ru



## References

1. Belov D. V., Safronov E. I. Metody' monitoringa i analiza setevogo trafika v mul'tiservisny'x sistemax svyazi. // Telekommunikacii. – 2021. – № 6. – S. 14–21.
2. Odoevskij S. M., Simonova K. O., Zizevskij V. A. Analiz vliyaniya tochnosti monitoringa parametrov setevogo trafika na kachestvo ego obsluzhivaniya // Texnika sredstv svyazi. – 2024. – №4 (168). – S. 8–19.
3. Ivanov A. A., Sidorov P. N., Analiticheskie modeli ocheredej v mul'tiservisny'x setyax peredachi danny'x // Informacionny'e tekhnologii i telekommunikacii. – 2021. – T. 9, № 4. S. 45–54.
4. Kuz'min D. V., Orlov S. E. Modelirovanie zaderzhek i peregruzok v setyax peredachi danny'x pri vy'sokoj nagruzke // Vestnik svyazi. – 2022. - № 6. – S. 32–40.
5. Odoevskij S. M., Simonova K. O., Zizevskij V. A. Ocenka stepeni vliyaniya tochnosti monitoringa setevogo trafika na kachestvo ego obsluzhivaniya v setyax svyazi voennogo naznacheniya metodami imitacionnogo modelirovaniya // Tre't'ya vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya po imitacionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v voennoj sfere «Imitacionnoe modelirovanie sistem voennogo naznacheniya, dejstvij vojsk i processov ix obespecheniya» («IMSVN-2024»). Trudy' knferencii. – Sankt-Peterburg: VA MTO; Moskva: RIOR, 2024. – 380 s. – ISBN 978-5-369-02166-8. C. 275-285.
6. Berdyugin A. V., Kovalev S. N. Analiticheskaya model' vliyaniya monitoringa na e'ffektivnost' setej peredachi danny'x. // Nauchny'j vestnik VAS. – 2023. – № 2. – S. 40–48.
7. Odoevskij S.M., Zizevskij V.A., Rafal'skaya M.I. Approksimaciya statisticheskix xarakteristik processa obsluzhivaniya mul'timedijnogo trafika na osnove lognormal'nogo raspredeleniya // Radiolokaciya, navigaciya, svyaz'. Sbornik trudov XXX Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii. V 5-ti tomah. Voronezh, 2024. S. 96–105.

