

М.А. Ланин

---

## ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОЦЕНИВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАФИКА

---

**Аннотация.** Проведен углубленный анализ показателей качества и эффективности сетевых систем. Выявлены существенные показатели качества сети передачи данных, определяющие степень ее пригодности для использования по назначению и влияющие на значения показателей эффективности. Систематизированы частные показатели эффективности функционирования сети, включая, наряду с результативностью, оперативностью и ресурсоемкостью, промежуточные показатели производительности и продуктивности, обладающие самостоятельной информативностью применительно к оцениванию эффективности сети. Обоснована целесообразность раздельного рассмотрения показателей технического качества сетей и качества обслуживания их пользователей.

*Ключевые слова:* сеть передачи данных, трафик, маршрутизация, качество, эффективность, показатели функционирования, обслуживание.

М.А. Lanin

---

## EVALUATION FEATURES OF NETWORK QUALITY AND EFFICIENCY INDICATORS OF DATA TRANSMISSION AND TRAFFIC ROUTING

---

**Abstract.** An in-depth analysis of the quality and efficiency of network systems has been carried out. Significant indicators of the quality of the data transmission network have been identified, determining the degree of its suitability for its intended use and influencing the values of efficiency indicators. The article systematizes private indicators of the effectiveness of network, including, along with efficiency, speed and resource intensity, intermediate indicators of performance and productivity, which have independent informativeness in relation to evaluating the network efficiency. The expediency of separate consideration of indicators of the technical quality of networks and the quality of service for their users is substantiated.

*Keywords:* data transmission network, traffic, routing, quality, efficiency, performance indicators, service.

### *Введение*

На современном этапе развития общества широкое распространение получил сегмент информационных технологий, важной составляющей которого является технология сетей передачи данных, обеспечивающих возможность доставки сообщений от одной точки сети к нескольким посредством применения коммутирующих устройств [1].

Преимущественное использование получили беспроводные сети передачи данных, позволяющие передавать и получать данные на любом расстоянии. Так, с целью повышения качества услуг по доступу в интернет постоянно расширяется шлюз для доступа в сеть. В 2022 году его суммарная пропускная способность составила 2230 Гбит/с. С 2016 года суммарная емкость была увеличена более чем в два раза. Эти данные показывают стремительное проникновение информационных технологий, в том числе сетей передачи данных, в различные сферы современного общества.

В настоящей работе основное внимание сосредоточено на анализе показателей качества сетей передачи данных и эффективности их функционирования. Исследование этих

**Ланин Михаил Андреевич**

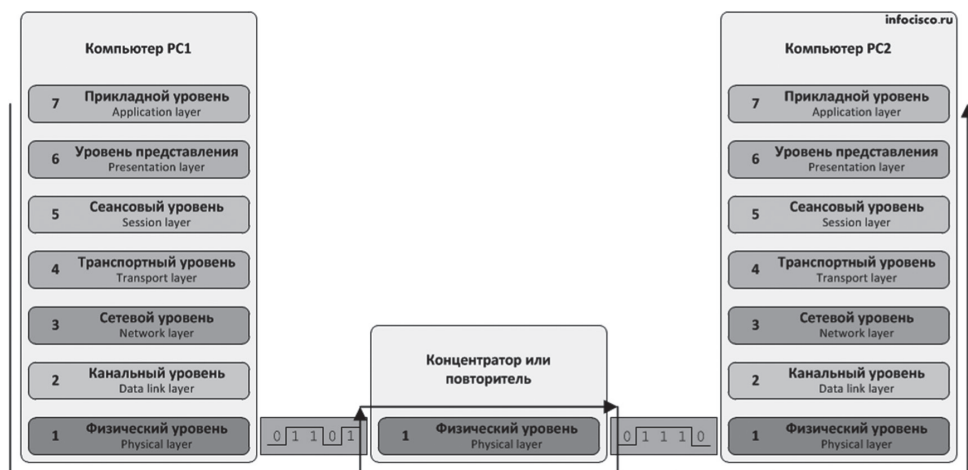
аспирант, Российский новый университет, Москва. Сфера научных интересов: сети передачи данных, теория эффективности, системный анализ.

Электронный адрес: dianamoris@yandex.ru

вопросов представляет существенный интерес ввиду необходимости разработки новых, более эффективных алгоритмов маршрутизации в сетях передачи данных [2].

*Принципы функционирования сетей передачи данных и маршрутизации трафика*

Для анализа процессов функционирования сетей передачи данных обратимся к составленной автором иерархии сетевой модели OSI (Open Systems Interconnection), которая обобщает и стандартизирует представление средств сетевого взаимодействия в телекоммуникационных и компьютерных системах (Рисунок 1).



**Рисунок 1.** Структура сетевой модели OSI

Три нижних уровня обеспечивают передачу трафика через сеть, а верхние служат для корректной обработки и завершения этого процесса. На первом физическом уровне сетевой модели OSI определяются спецификации разъемов и интерфейсов передачи данных. Следующий в иерархической структуре – канальный уровень, основным оборудованием которого являются коммутаторы и точки доступа. Третью ступень занимает сетевой уровень, на базе которого обеспечивается сквозная система логической адресации. Именно на этом уровне пакет данных можно маршрутизировать с помощью сетей второго уровня [3].

Маршрутизаторы используют протоколы для обмена данными, а транспортный уровень делит большие сообщения на сегменты для сквозной связи. Алгоритм маршрутизации направлен на минимизацию задержек, максимизацию пропускной способности, обеспечение надежной доставки и минимизацию затрат. Приоритеты зависят от конкретных требований к сети, при этом эффективность использования ресурсов важна для сетей с ограниченной пропускной способностью, а безопасная передача – для сетей с высокой степенью защиты.

Полоса пропускания и пропускная способность в контексте компьютерных сетей имеют разный смысл. Полоса пропускания определяет максимальный объем данных, который может быть передан по сетевому соединению за заданный промежуток времени. Обычно она измеряется в бит в секунду (bps) и представляет собой теоретическую пропускную способность сетевого соединения, в то время как пропускная способность отражает фактическую производительность сети в реальных условиях [4]. Сетевой трафик включает в себя голосовые, видео- и текстовые сообщения и может измеряться байтами данных, пакетами или соединениями. Нагрузка на сеть определяется объемом данных, передаваемых за определенный период, и измеряется в таких единицах, как bps и rps (пакетов в секунду). Алгоритмы маршрутизации выполняются в условиях неопределенности из-за запаздывания данных о состоянии сети.

#### *Показатели качества и эффективности функционирования сетей передачи данных*

При оценивании таких систем, как сети передачи данных, следует различать *качество* и *эффективность* реализуемых ими операций (процессов). Иными словами, эффективность представляет собой *качество функционирования* системы в реальных условиях окружающей среды и характеризует степень достижения системой целевого эффекта [5]. В рамках тезауруса теории эффективности примем следующие определения.

**Определение 1.** Качество сети передачи данных – совокупность ее существенных характеристик, определяющих степень ее пригодности для доставки пакетов по назначению.

**Определение 2.** Эффективность функционирования сети передачи данных – ее комплексное операционное свойство, определяющее степень ее приспособленности для достижения целей маршрутизации.

Как известно, обобщенный показатель качества, интегрирующий значительное множество частных показателей, представляет собой вектор

$$Y = \langle y_1, y_2, \dots, y_n \rangle, \quad (1)$$

компонентами которого являются частные показатели существенных свойств системы, количество которых определяет размерность этого вектора. Обобщенный показатель качества формируется как аддитивная свертка нормированных частных показателей:

$$Y = \sum c_i y_i^{\text{норм}}, \quad (2)$$

где  $c_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го частного показателя,  $y_i^{\text{норм}}$  – его нормированное значение.

Что касается обобщенного показателя эффективности, то он вводится как вектор  $Y_{\text{эфф}}$ , интегрирующий три частных показателя: результативность (степень достижения целевого эффекта)  $y_{\text{рез}}$ , оперативность  $y_{\text{оп}}$  и ресурсоемкость  $y_{\text{рес}}$ :

$$Y = \langle y_{\text{рез}}, y_{\text{оп}}, y_{\text{рес}} \rangle. \quad (3)$$

В рамках рассматриваемой задачи представляется целесообразным ввести и разграничить два укрупненных частных показателя эффективности: *производительность* сети и ее *продуктивность*. Производительность сети определим как отношение результативности к оперативности (времени доставки пакетов), а продуктивность – как отношение результативности к ресурсоемкости (количеству ресурсов, затраченных на обеспечение доставки пакетов).

Подчеркнем, что с точки зрения пользователя именно производительность (объем доставленных неискаженных данных в единицу времени) представляется наиболее существенным показателем в контексте *качества обслуживания*. Что касается поставщика

услуг связи (провайдера), то для него наиболее существенным показателем эффективности является продуктивность процесса (количество ресурсов, затраченных на доставку единицы объема данных). Очевидно, что продуктивность детерминируется *техническим качеством* сети. При этом и тот, и другой заинтересованы в обеспечении высокой эффективности выполнения операций.

Следовательно, возникает оптимизационная задача, решением которой должно стать достижение наилучшего компромисса между целями потребителя и оператора, то есть приемлемое для обоих разделение соотношения неопределенностей:

$$\Delta T_{\text{оп}} \Delta T_{\text{п}} \approx \text{const}, \quad (4)$$

где  $\Delta T_{\text{оп}}$  – отклонение от идеальной цели оператора (максимальная продуктивность);  $\Delta T_{\text{п}}$  – отклонение от идеальной цели потребителя (максимальная производительность).

Общая задача обеспечения оптимальной эффективности сети состоит в максимизации соотношения выходных данных к входным, часто определяемого как коэффициент эффективности сети – NER (Network Effectiveness Ratio). Этот показатель измеряет производительность сети с точки зрения ее способности *успешно* доставлять информационные пакеты по назначению. Он рассчитывается путем деления количества успешно доставленных пакетов на общее количество отправленных пакетов и измеряется в процентах [6].

Показатель *задержки пакета*, измеряемый в миллисекундах, является критическим параметром качества обслуживания (далее – QoS), который измеряет промежуток времени, необходимый для прохождения пакета данных по сети от источника до пункта назначения [7]. На задержку влияют такие факторы, как перегрузка сети, задержки маршрутизации и обработки. Показатель *потери пакетов* оказывает наибольшее влияние на степень полноты доставки сообщений.

Неполная доставка сообщений может быть интерпретирована как увеличение информационной энтропии в процессе передачи данных.

В математических обозначениях энтропию сообщения  $H$  можно вычислить, используя формулу Шеннона:

$$H = -\sum p(x) \log_2 p(x), \quad (5)$$

где  $p(x)$  – вероятность доставки неповрежденного сообщения.

Степень возрастания неопределенности может быть определена количественно путем сравнения энтропии неполного сообщения с энтропией исходного сообщения. Производительность, оперативность и использование ресурсов также учитываются при оценке выходных данных.

В конечном счете целью анализа функционирования сети передачи данных можно считать максимизацию ее эффективности путем достижения наилучшего компромисса между производительностью и продуктивностью.

#### *Особенности выбора показателей качества и эффективности для сетей передачи данных*

Выбор значимых показателей для оценивания производительности сети важен из-за критического характера сетей передачи данных. *Техническое качество* сети, обеспечивающее ее производительность, относится к ее способности функционировать в соответствии с принятым дизайном и спецификациями, в то время как *качество обслуживания* относится к уровню удобства и производительности, которые она предоставляет пользователям. Хотя техническое качество сети может влиять на QoS, это не одно и то же: сеть может иметь высокое техническое качество при низком QoS, и наоборот.

Постоянно растущие требования пользователей и приложений к производительности сети в настоящее время привели к появлению механизмов QoS – методов, используемых для управления сетевыми ресурсами посредством обеспечения приоритетной обработки определенных трафиков данных для соответствия требуемому уровню производительности.

Существует несколько механизмов, которые могут быть использованы для обеспечения QoS в сети, в частности:

- формирование трафика;
- приоритизация трафика;
- механизм резервирования;
- предотвращение перегрузки;
- контроль доступа.

Ранжирование указанных механизмов по степени их существенности влияния на функционирование сети, как правило, формирует следующий ряд предпочтений:

*приоритизация трафика ≥ формирование трафика ≥ предотвращение перегрузок > резервирование полосы пропускания > контроль доступа > фильтрация пакетов.*

Критерии QoS определяют уровень качества обслуживания, который может предоставить сеть конечному пользователю. Ключевые параметры, которыми оперируют механизмы QoS, включают в себя полосу пропускания, пропускную способность, задержку в сети, джиттер – промежуток времени между последовательно отправляемыми пакетами, показатели потери пакетов и реакции на *характеристики профиля трафика*, которые определяются конкретными требованиями к QoS для сети.

Характеристики профиля трафика, такие как объем, время прохождения трафика и типы приложений, влияют на выбор механизмов, которые по-разному определяют приоритеты или распределяют полосу пропускания. В ответ на внезапное увеличение трафика механизм определяет приоритетность определенного типа трафика (например, голосового или видео), чтобы уменьшить задержку и потерю пакетов. Для более предсказуемого трафика механизм может определять распределение полосы пропускания для каждого пользователя или приложения. QoS также может адаптироваться путем настройки параметров на основе обратной связи и анализа в режиме реального времени.

Различные сетевые приложения имеют разный уровень чувствительности к критериям качества обслуживания (QoS). Например, потоковая передача голоса и видео очень чувствительны к пропускной способности, задержке передачи и джиттеру, в то время как общий доступ к файлам и веб-поиск более чувствительны к пропускной способности, но в меньшей степени к задержке. Электронная коммерция и электронная почта, в свою очередь, имеют существенно более низкую чувствительность к пропускной способности и джиттеру. Приведем реализованный автором конкретный пример конфигурации QoS (Рисунок 2).

Здесь сетевое устройство определяет приоритет голосовых приложений (DSCP «ef»), выделяет определенный объем полосы пропускания для видео (DSCP «af41»), а остальное – для массовых данных (DSCP «af11»). Команда *priority* придает голосовому трафику более высокий приоритет, команда *bandwidth* гарантирует пропускную способность видео, а команда *random-detect* отбрасывает пакеты, когда нагрузка слишком высока. Эта конфигурация отвечает конкретным потребностям приложения и соответствующим образом распределяет приоритеты.

Анализ показателей QoS в контексте теории эффективности показал, что они естественным образом делятся на показатели эффективности (детерминируемые уровнем

*технического качества*) и показатели качества обслуживания конечных пользователей. Качество сети как технической системы зависит от таких факторов, как топология, аппаратные и программные компоненты и протоколы, в то время как показатели QoS субъективны и соответствуют ожиданиям пользователей. Оценка качества сети как технической системы требует системного подхода, который включает тестирование производительности, анализ дизайна и архитектуры сети, в то время как QoS гарантирует, что пользователи получают соответствующий уровень обслуживания, отвечающий их потребностям.

```
class-map VOICE
match dscp ef
class-map VIDEO
match dscp af41
class-map BULK-DATA
match dscp af11
policy-map QOS-OUT
class VOICE
priority percent 33
class VIDEO
bandwidth percent 33
random-detect dscp-based
class BULK-DATA
bandwidth percent 34
random-detect dscp-based
```

**Рисунок 2.** Пример конфигурации QoS в роутерах на базе Cisco IOS

Таким образом, качество самой сети является функцией ее технических характеристик, и прежде всего производительности, надежности и доступности, в то время как качество обслуживания может быть выражено как функция потребностей и ожиданий пользователей в отношении производительности сети, регламентируемых соглашениями об уровне обслуживания.

#### Заключение

Совместное использование методологии системного анализа и теории эффективности для оценивания качества и эффективности сетей передачи данных и их сопоставление с технологией QoS позволили по-новому упорядочить систему соответствующих показателей.

Привлечение промежуточных частных показателей эффективности в рамках оптимизационной задачи позволило отнести производительность к наиболее существенному показателю эффективности для пользователей сети, а продуктивность – к показателю, существенному для лиц, предоставляющих возможность пользования услугами сетей передачи данных.

Декомпозиция обобщенного показателя качества показала целесообразность отдельного рассмотрения двух категорий качества сетей. Так, обобщенный показатель качества, интегрирующий технические характеристики сети, относится целиком к проблематике и компетенции лиц, предоставляющих сетевые услуги, и не важен для пользователей, которые предъявляют к сетям передачи данных субъективные требования, направленные на обеспечение высокого качества обслуживания.

Можно полагать, что результаты настоящей работы представляют интерес применительно к дальнейшему исследованию проблемы обеспечения функционирования и совершенствования сетей передачи данных.



*Благодарности*

Автор благодарит профессора И.С. Клименко за полезное обсуждение.

**Литература**

1. Слостухина В.И. Технологии для реализации сети нового поколения 5G // Экономика и качество систем связи. 2020. № 4 (18). С. 42–49. EDN VRKYWE.
2. Муравьев К.А., Терехов В.В. Анализ показателей качества систем передачи данных // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2018. Т. 1. С. 128–133. EDN YAFHQD.
3. Городничев М.Г., Кочупалов А.Е. Исследование методов межпроцессного взаимодействия в информационной системе с горизонтальным взаимодействием // Вестник Евразийской науки. 2018. № 4. С. 39–71. EDN YMZRDF.
4. Aceto G., Palumbo F., Persico V., Pescapè A. Available Bandwidth vs. Achievable Throughput Measurements in 4G Mobile Networks // 14th International Conference on Network and Service Management (CNSM), Rome, Italy, 05–09 November 2018. IEEE, 2018. Pp. 125–133. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8584949> (дата обращения: 07.03.2023).
5. Клименко И.С. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие. М. : КноРус, 2021. 264 с. ISBN 978-5-406-07954-6. EDN РМККОН.
6. Telecommunication Standardization Sector of ITU. Internal automatic observations. ITU-T Recommendation E.425. ITU, 2002. 18 p. URL: <https://clck.ru/34gbJb> (дата обращения: 07.03.2023).
7. Alkenani J., Khulood A.N. Network monitoring measurements for quality of service: A review // Iraq Journal for Electrical and Electronic Engineering. 2022. Vol. 18. No. 2. Pp. 33–42. DOI: <http://dx.doi.org/10.37917/ijeee.18.2.5>

**References**

1. Slastukhina V.I. (2020) Technologies for the implementation of a new 5G generation network. *Ekonomika i kachestvo system svyazi* [Economics and quality of communication systems]. No. 4. Pp. 42–49. (In Russian).
2. Muraviev K.A., Terekhov V.V. (2018) Analysis of quality indicators of data transmission systems. In: *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' ikachestvo»* [Reliability and Quality: Proceedings of the International Symposium]. Vol. 1. Pp. 128–133 (In Russian).
3. Gorodnichev M.G., Kochupalov A.E. (2018) Investigation of interprocess communication methods in the information system with horizontal interaction. *The Eurasian Scientific Journal*. No. 4. Pp. 39–71 (In Russian).
4. Aceto G., Palumbo F., Persico V., Pescapè A. (2018) Available Bandwidth vs. Achievable Throughput Measurements in 4G Mobile Networks. In: *2018 14th International Conference on Network and Service Management (CNSM)*, Rome, Italy, 05–09 November 2018. IEEE. Pp. 125–133. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8584949> (accessed 07.03.2023).
5. Klimenko I.S. (2021) *Teoriya system i sistemnyi analiz: ucheb. posobie* [Theory of systems and system analysis: Study guide] Moscow : KnoRus Publ. 264 p. ISBN 978-5-406-07954-6. (In Russian).
6. Telecommunication Standardization Sector of ITU (2002) *Internal automatic observations. ITU-T Recommendation E.425*. ITU. 18 p. URL: <https://clck.ru/34gbJb> (accessed 07.03.2023).
7. Alkenani J., Khulood A.N. (2022) Network monitoring measurements for quality of service: A review. *Iraq Journal for Electrical and Electronic Engineering*. Vol. 18. No. 2. Pp. 33–42. DOI: <http://dx.doi.org/10.37917/ijeee.18.2.5>