



# Телекоммуникационные системы и компьютерные сети

DOI: 10.5862/JCSTCS.236.1

УДК 621.391.28

*В.В. Карганов, А.Г. Расчесова, В.А. Кудряшов*

## **ПОКАЗАТЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ СВЯЗИ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*V.V. Karganov, A.G. Raschesova, V.A. Kudriashov*

## **THE INDICATOR FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF COMMUNICATION SYSTEMS AND THEIR ELEMENTS**

Предложен показатель эффективности сетей связи и их элементов, обеспечивающий возможность их объективного сравнения на этапах создания, совершенствования и эксплуатации, а также установления обоснованных тарифов. Описанная совокупность значений показателей качества функционирования определяет состояния элементов сети и сети в целом и характеризует их нагрузочную способность.

Рассмотрено понятие стратификации сети связи как сложной системы, со спецификациями реализуемых протоколов передачи и обработки и с использованием известных аналитических моделей на базе систем массового обслуживания или имитационного моделирования. Изложен метод определения показателя эффективности (Method definition indicator efficiency) и оптимальной рабочей точки функционирования сети связи и ее элементов.

**СЕТЬ СВЯЗИ; КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ; МЕТРИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО; ОБЪЕМ СЕТИ; МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ (METHOD DEFINITION INDICATOR EFFICIENCY (MDIEF)); НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА; ОПТИМАЛЬНАЯ РАБОЧАЯ ТОЧКА.**

The article offers an indicator of efficiency of communication networks and their elements, providing the possibility of their objective comparison at stages of creation, perfection and operation, and also an establishment of well-founded tariffs. The considered set of values of indicators of quality of functioning defines the conditions of elements of a network and a network as a whole and characterizes their loading ability.

The concept of stratification of a communication network, as a complex system, with the specifications of implemented protocols of transfer and processing and using the known analytical models based on systems of mass service or imitating modeling is considered. A method for defining an indicator of efficiency (MDIEF) and an optimum working point of functioning of a communication network and its elements are stated.

**COMMUNICATION NETWORKS (CN); CLASSIFICATION INDICATORS (CI); METRIC SPACE (NS); VOLUME NETWORK (VN); METHOD DEFINITION INDICATOR EFFICIENCY (MDIEF); LOADING CHARACTERISTIC (LC); OPTIMUM WORKING POINT.**

На этапах научных исследований, проектирования, построения и эксплуатации [1, 2] стоит задача анализа и сравнения вариантов создания и применения оборудова-

ния средств связи. Для сравнения вариантов и установления обоснованных тарифов за пользование услугами связи необходим объективный показатель эффективности [3].

**Постановка задачи.** Сеть связи (СС) является сложной технической системой, и цель выполняемой ею операции состоит в передаче потоков сообщений пользователей требуемого объема и с заданным качеством. Оценка ее эффективности должна осуществляться по показателям, характеризующим качество ее функционирования, которые обуславливают ее пригодность для использования по назначению. Цель настоящей статьи заключается в разработке универсального показателя для оценки эффективности СС и их элементов на соотношении результата функционирования – полезного эффекта и затрат на реализацию.

**Решение.** Полезный эффект СС характеризует целенаправленный процесс ее функционирования и оценивается показателями качества функционирования. Процесс ее функционирования состоит в передаче определенного количества сообщений, каждое из которых передается с определенной скоростью и степенью точности [4, 5].

На основе классификации показателей сети [6, 7] определены:

класс **A** – класс показателей качества функционирования сети;

класс **B** – класс показателей стабильности качества функционирования;

класс **E** – класс показателей эффективности.

В отдельные классы выделены показатели, определяющие значения показателей качества функционирования СС, – класс **C**; показатели системы эксплуатации, определяющие стабильность показателей качества функционирования, – класс **D**; стоимостные показатели – класс **F**, влияющие на показатели эффективности.

В класс **A** входят производительность  $\Pi$ , скорость  $V$  и точность передачи информации  $T$ , что отвечает положениям рекомендации МСЭ I.350. Показатели взаимосвязаны и значения одного или двух из них недостаточно для оценки сети. Вероятность своевременной доставки  $Q$  является интегральным показателем качества функционирования. Показатели качества функционирования являются компонентами вектора  $\Phi = (\Pi, V, T)$  в пространстве  $R^3$  (рис. 1). По совокупностям значений этих компо-

нентов определяются состояния элементов сети и сети в целом.

**Метрическое пространство.** Совокупность значений показателей качества функционирования определяет состояния элементов сети и сети в целом и характеризует их нагрузочную способность (НС)  $H_c$ .

Для наибольшей НС СС  $H_c$  (имеет статус паспортной характеристики), определяемой наибольшими возможными значениями, имеем показатели: пропускная способность сети  $C$ ; максимальная скорость доставки  $V_{\text{дост}}$  как обратная величина времени доставки; наибольшая точность передачи  $T_c$  – среднее количество сообщений, передаваемых в единицу времени точно (без искажений, потерь и засылок не по адресу).

Состояние НС получателя информации также характеризуется вектором  $H_{\text{пол}}$  в пространстве  $R^3$ . Пространство показателей качества функционирования сети  $\Phi$  ограничивается НС  $H_c$  [8, 14].

Процесс функционирования  $\Phi$  СС и любого из ее элементов может происходить только в рамках их НС, определяемых максимально возможными значениями показателей. НС СС  $H_c$  и ее элементов в процессе использования по назначению может быть вычислена аналитически, получена экспериментально путем измерений или сбора и обработки статистических данных.

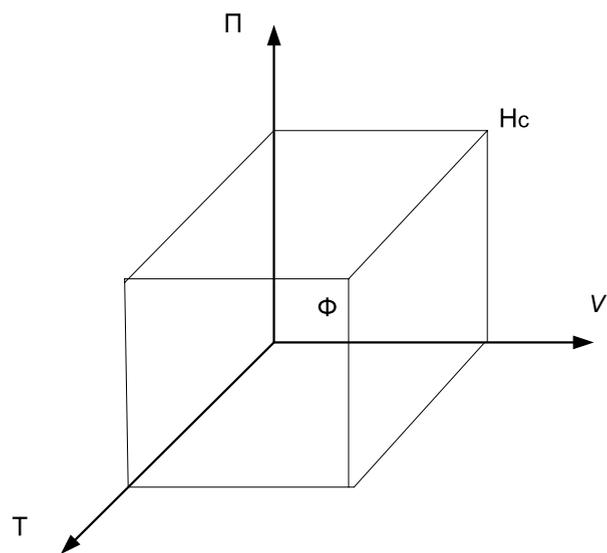


Рис. 1. Пространство  $\Phi$  показателей качества функционирования

Для некоторой системы подмножеств пространства показателей качества функционирования  $\Phi$  вводится отображение  $W: N_{ci} \rightarrow R$ , такое что  $W_i = P_i \times V_i \times T_i$ , где  $W_i$  является неотрицательной, счетно-аддитивной функцией, определяющей объем в (сообщ/с)<sup>3</sup> и представляющей собой меру на пространстве показателей качества функционирования сети. Пространство  $\Phi$  является метрическим: каждой паре  $N_{ci}, N_{cj} \in \Phi$  соотнесено вещественное число  $\rho(N_{ci}, N_{cj})$ , представляющее собой расстояние между элементами пространства, удовлетворяющее условиям теории меры. Данные оценки особенно важны для конвергентных систем связи с целью организации их эффективного управления, установления объективных тарифов, взаиморасчетов между подсетями и т. д.

Метрика на  $\Phi$  может быть введена не единственным образом. При данном определении она представляет собой трехмерное Евклидово пространство. Метрика  $W$  введена через показатели качества функционирования системы (взаимосвязанные с показателями, характеризующими различные свойства системы) и позволяет определить удельные затраты, приходящиеся на единицу объема:

$$y = \frac{C \text{ руб.}}{W} \Big/ \left( \frac{\text{сообщ}}{c} \right)^3.$$

Здесь  $C$  – затраты на организацию и эксплуатацию системы связи.

Показатели качества функционирования определяются в количестве сообщений в единицу времени,  $Y$  – удельная себестоимость, имеющая размерность руб./(сообщ/с)<sup>3</sup> и названная *Ливн* в честь известного советского ученого В.Н. Листова, [9].

**Определение показателя эффективности Ливн.** Рассматриваем модель СС как «черный ящик»: СС – это S-система определенного поколения, целенаправленно созданная для выполнения глобальной операции  $A$ , имеющая единственную цель и некоторые затраты на ее реализацию, с потоками  $P_{вх}$  на входе и  $P_{вых}$  на выходе системы, с внутренними свойствами и возможными воздействиями внешней среды.

Эта глобальная операция  $A$  СС состоит из ряда составных операций подсистем СС таких, что каждая из них направлена на выполнение целевой функции глобальной операции. Глобальная операция  $A$  СС как сложной системы декомпозируется на отдельные составляющие операции, например, выделяемые плоскостями пользователя, сигнализации и управления как подсистемами, выполняющие свои целевые операции  $A1, A2, A3$ , необходимые для выполнения глобальной операции:  $A \supset A1, A2, A3$ .

При рассмотрении дерева декомпозиции «вглубь», каждая из плоскостей, как система, декомпозируется на подсистемы – уровни и т. д.

В СС передача сообщений пользователей производится по некоторому сквозному тракту. Оценка показателей качества обслуживания осуществляется в соответствии со стратификацией СС как сложной системы [10, 14], со спецификациями реализуемых протоколов передачи и обработки и с использованием известных аналитических моделей на базе систем массового обслуживания (СМО) или имитационного моделирования [11, 15].

В соответствии с рекомендацией [10] основными объектами сквозных трактов передачи являются маршрутизаторы и каналные соединения транспортной сети переноса данных.

Для аналитического описания СС строится концептуальная модель сети. Элементами модели являются участки абонентской  $P_{са}$  и магистральной  $P_{см}$  сетей, функционирование которых можно описать соответствующими СМО. Для сети передачи данных (ПД) коммутации пакетов это объекты транспортного и сетевого уровней в терминальном оборудовании, объекты сетевого уровня в узлах коммутации (УК) магистральной сети и объекты канального соединения между смежными элементами сети. Обычно принимается, что поступающие в эти объекты потоки пакетов или сообщений являются пуассоновскими, а законы распределения их времени обслуживания – детерминированными для пакетов и показательными для сообщений.

Для элемента сети, описываемого как СМО типа М/М/1 с неограниченной очередью и прямым порядком обслуживания, выражение для нагрузочной характеристики (НХ) имеет вид уравнения прямой в отрезках:

$$\frac{\lambda}{\mu} + \frac{1}{\mu T_v} = 1.$$

Нагрузочная характеристика СМО типа М/D/1 определяется для каждого  $\rho$  соответствующими парами значений:

$$\lambda_{\text{обсл}} = \rho\mu \text{ и } T_v^{-1} = \frac{2 - \rho}{2\mu(1 - \rho)}.$$

Она является выпуклой вверх, а ее предельные точки совпадают с предельными точками НХ СМО типа М/М/1 [12, 13]. В случае когда требование, поступившее в занятую или свободную СМО при отказах обслуживающего прибора, ожидает его восстановления, сколько бы раз он не отказывал в процессе обслуживания, имеем следующее выражение для СМО типа М/М/1:

$$\frac{\lambda_{\text{обсл}}}{\mu K_r} + \frac{T_v^{-1}}{\mu K_r / (1 + \mu K_r K_n T_n)} = 1,$$

где  $K_r$  – коэффициент готовности обслуживающего прибора;  $K_n$  – коэффициент простоя;  $T_n$  – среднее время простоя.

В силу свойства прямолинейности НХ просто определяются требования к показателям надежности обслуживающего прибора. Время исправной работы  $T_n$  и время простоя  $T_n$  объектов предполагается экспоненциально распределенным.

Нагрузочная характеристика сети ПД определяется по НХ элементов аналитической модели:

$$P_c = \min(P_{CA \text{ вх}}, P_{CM}, P_{CA \text{ вых}});$$

$$T_{vC} = T_{vCA \text{ вх}} + T_{vCM} + T_{vCA \text{ вых}}.$$

Участок абонентской сети  $P_{CA}$ , входной и выходной, можно рассматривать как трехфазную сеть массового обслуживания, включающую СМО для описания свойств объектов транспортного и сетевого уровней в терминале, канального соединения и объекта сетевого уровня в УК, соединенных

последовательно. НХ  $P_{CA}$  определяется парами значений  $\lambda_{\text{обсл}}$  и  $T_v^{-1}$  для каждого  $\lambda_{\text{вх}} \in [0, \text{Supr}\lambda_{j,ck}]$ .

При этом для отдельного участка  $P_{CA}$   $T_v^{-1} = \left( \sum_{i=1}^3 T_{vi} \right)^{-1}$ , здесь  $i$  – объект  $P_{CA}$ . Средние значения  $\lambda_{\text{обсл}}$  и  $T_v^{-1}$  определяются усреднением по всем входным и выходным участкам абонентской сети.

Магистральная сеть включает объекты сетевого уровня во входном, выходном и транзитных УК, а также объекты канальных соединений между ними, рассматриваемые как СМО типа М/М/S или М/D/S (S – количество обслуживающих приборов). НХ магистральной сети определяется парами значений:

$\lambda_{\text{обсл CM}}$  для каждого  $\lambda_{\text{вх CM}} \in [0, \text{Supr}\lambda_{\text{обсл CA вх}}]$ ;

$T_{vCM}^{-1}$ , соответствующее каждому  $\lambda_{\text{вх CM}}$ .

Для дейтаграммной сети среднее время пребывания пакета в магистральной сети может быть определено с использованием критерия качества сети  $T_{\text{вкр}}$ :

$$T_{vCM} = \varphi T_{\text{вкр}} + \sum_j \frac{\lambda_{\text{обсл } j}}{\lambda_{\text{обсл CM}}} T_{vУК j}.$$

Здесь  $\varphi$  – среднее число УК, проходимых пакетами в магистральной сети. Второе слагаемое представляет собой среднее время пребывания пакетов в выходном УК, где  $T_{\text{вкр}}$  определяет усредненное в соответствии с частью обрабатываемого потока значение среднего времени пребывания пакета во входном УК и в магистральной сети до выходного УК.

**Определение оптимальной рабочей точки функционирования СС и ее элементов.** Система связи является одноцелевой, и ее операция состоит в передаче потока сообщений требуемого объема и с заданными показателями качества. Глобальная операция системы связи состоит из ряда составных операций ее подсистем, каждая из которых направлена на выполнение целевой функции глобальной операции. Эффективность реализации каждой из отдельных операций также измеряется соотношением результата ее функционирования – полезного эффекта и затрат на реализацию данной операции.

Наибольшему значению показателя объема системы связи  $W$  при одних и тех же затратах соответствует и наибольшее значение показателя эффективности Ливн. Максимальное значение  $W_{\max}$  соответствует оптимальной рабочей точке функционирования системы связи и ее элементов (точке «золотого сечения»), в которой «сбалансированы» отдельные показатели качества функционирования. Поддержание процесса функционирования СС в оптимальной рабочей точке является одной из основных задач в процессе использования сети по назначению.

«Сбалансированность» показателей производительности системы связи и скорости передачи наглядно представима на НХ. Она определена [3, 9, 14] как зависимость между интенсивностью обслуженного потока сообщений и скоростью доставки  $T$  сообщений. НХ для элемента, некоторого участка

и СС в целом может быть вычислена аналитически, например, с использованием теории СМО, получена на имитационной модели и экспериментально путем измерений или сбора и обработки статистических данных.

В частном случае, в плоскости  $\Pi \times V$ , НХ, устанавливающая зависимость между показателями производительности –  $\Pi$  и скорости –  $V$ , обеспечивает наглядность определения оптимальной рабочей точки функционирования, характеризующейся максимальной эффективностью вследствие сбалансированности отдельных показателей. Предполагается, что требуемая точность передачи обеспечивается методами помехоустойчивого кодирования.

На рис. 2 представлено определение оптимальной рабочей точки по НХ для элемента системы связи, описываемого СМО типа М/М/1.

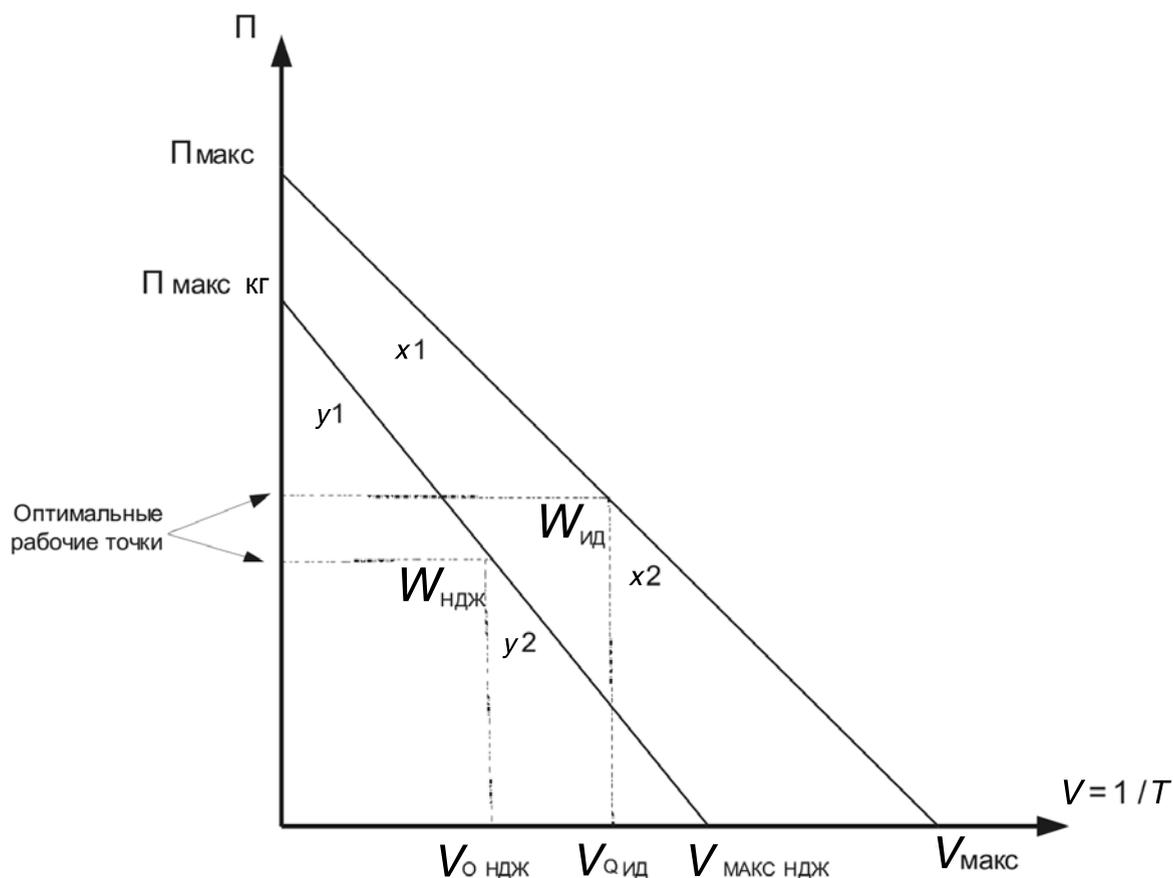


Рис. 2. Определение оптимальных рабочих точек по НХ

Приведены две характеристики с идеальным обслуживающим прибором и с ненадежным прибором, при стратегии обслуживания такой, что требование, поступившее при отказах обслуживающего прибора в занятую или свободную систему, ожидает его восстановления, сколько бы раз он не отказывал в процессе обслуживания.

Показаны оптимальные рабочие точки и выделены прямоугольники, площади которых равны максимальному объему идеальной СМО и с неидеальным обслуживающим прибором. Оптимальные рабочие точки просто определяются на графике НХ в силу равенства подобных треугольников  $x_1$  и  $x_2$ , а также  $y_1$  и  $y_2$  и соответствуют коэффициенту загрузки  $\rho = 0,5$ .

Для получения оптимального значения объема  $W_{\max}$  средняя интенсивность входного потока  $\lambda^*$  должна выбираться соответствующей оптимальной рабочей точке  $\Pi^*$  с параметрами  $\Pi^* = \Pi(\lambda^*) = \Pi_{\max} / 2$ , а также  $T(\Pi^*) = 2 / \Pi_{\max} = 2T(0)$ . В оптимальной рабочей точке производительность и время передачи сбалансированы.

Предложен универсальный показатель для оценки эффективности СС и их эле-

ментов, основанный на соотношении полезного эффекта функционирования СС и затрат на нее. Универсальность обеспечивается построением метрического пространства показателей качества функционирования, вычислением обобщенного показателя — объема сети  $W$  и затем показателя Ливн, представляющего собой удельную себестоимость и позволяющего осуществлять объективную сравнительную оценку различных СС и их элементов. Предложена НХ, отличающаяся наглядностью оптимальной рабочей точки функционирования СС и ее элементов, при которой обеспечивается наивысшая эффективность сети.

Рассмотренный показатель эффективности может использоваться при создании новых и совершенствовании существующих СС, которые могут быть построены на любых сетевых технологиях: с коммутацией сообщений, пакетов и каналов, сетей интегрального обслуживания. Он может также применяться и для оценки отдельных элементов СС. Объективность сравнительной оценки сетей по показателю эффективности позволяет положить его в основу тарификации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев С.П., Давыдов А.Е., Курносое В.И. Жизненный цикл инфокоммуникационных сетей: Монография. М.: Наука, 2011. 303 с.
2. Карпов М.А., Аболазм М.М., Зимин В.Г., Егорова Е.В., Мамаева О.Ю., Пуников А.Ю. Многоканальные волоконно-оптические телекоммуникационные системы // Успехи современной радиоэлектроники. 2014. № 1. С. 55–59.
3. Пирмагомедов Р.Я. О повышении эффективности процесса обслуживания сетей связи // Современные научные исследования и инновации. 2013. № 10 [Электронный ресурс] / URL: <http://web.snauka.ru/issues/2013/10/28072> (Дата обращения: 04.03.2016).
4. Межуев А.М. Тензорные методы в теории оценки информационной эффективности и анализа элементов цифровых радиосетей: Монография. Тамбов: Интеграция, 2008. 262 с.
5. Воробьев С.П., Хейстонен П. Эффективность жизненного цикла инфокоммуникационных сетей // Инфокоммуникационные технологии. 2009. Вып. 1.
6. Шварцман В.О. Качество услуг сетей следующего поколения // Электросвязь. 2006. № 3. С. 6–10.
7. Барабаш П.А., Воробьев С.П., Курносое В.И., Советов Б.Я. Инфокоммуникационные технологии в Глобальной информационной инфраструктуре. СПб.: Наука, 2008. 552 с.
8. Кулешов И.А., Расчесова А.Г. Концепции оценки эффективности современных систем связи. Моделирование развития информационно-телекоммуникационных систем. СПб.: Изд-во «Синтез-Бук», 2009. С. 146–190.
9. Кудряшов В.А., Красовский А.Е. сост. Владимир Николаевич Листов. Ученый, педагог, человек: Сб. статей и воспоминаний. СПб.: Информ. центр «Выбор», 2002. 136 с.
10. ITU-T RECOMMENDATION I.380-internet protocol data communication service — IP packet transfer and availability performance parameters.
11. Клейнрок Л. On Flow Control in Computer Networks. Computer Science Department University of California, Los Angeles, California, 2002.
12. Лохмотко В.В. Модели и методы оптими-



зации структуры телекоммуникационных сетей: Дисс. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГУТ, 2009.

13. **Моига́к Н.Н.** Модели, методы и алгоритмы анализа процессов функционирования инфокоммуникационных транспортных систем:

Дисс. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГУТ, 2009.

14. **Giessler A., Koenig A., Haenle J., Pade E.** *Deadlock-Free Packet Networks*. 2007.

15. **Zeigler B.P.** *Theory of modelling and simulation*. Wiley, 2006. P. 211

#### REFERENCES

1. **Vorobyev S.P., Davydov A.Ye., Kurnosov V.I.** *Zhiznennyy tsikl infokommunikatsionnykh setey* [*The life cycle of info-communication networks*]. Moscow: Nauka Publ., 2011, 303 p. (rus)

2. **Karpov M.A., Aboyelazm M.M., Zimin V.G., Yegorova Ye.V., Mamaeva O.Yu., Tsunikov A.Yu.** *Mnogokanalnyye volokonno-opticheskiye telekommunikatsionnyye sistemy* [Multi-channel fiber-optic telecommunication systems]. *Uspekhi sovremennoy radioelektroniki* [*Achievements of Modern Radioelectronics*], 2014, No. 1, Pp. 55–59. (rus)

3. **Pirmagomedov R.Ya.** *O povyshenii effektivnosti protsessa obsluzhivaniya setey svyazi* [Increasing efficiency of communication networks service]. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii* [*Modern scientific researches and innovations*], 2013, No. 10. Available: <http://web.snauka.ru/issues/2013/10/28072> (Accessed: 04.03.2016). (rus)

4. **Mezhuyev A.M.** *Tenzornyye metody v teorii otsenki informatsionnoy effektivnosti i analiza elementov tsifrovyykh radiosetey* [*Tensor methods in the theory of estimation of information efficiency and analysis of elements of digital radio*]. Tambov: Integratsiya Publ., 2008, 262 p. (rus)

5. **Vorobyev S.P., Kheystonen P.** *Effektivnost zhiznennogo tsikla infokommunikatsionnykh setey* [The effectiveness of the infocommunication network lifecycle]. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii* [*Information and Communication Technologies*], 2009, Vol. 1. (rus)

6. **Shvartsman V.O.** *Kachestvo uslug setey sleduyushchego pokoleniya* [The quality of next-generation network services]. *Elektrosvyaz* [*Electric Communication*], 2006, No. 3, Pp. 6–10. (rus)

7. **Barabash P.A., Vorobyev S.P., Kurnosov V.I., Sovetov B.Ya.** *Infokommunikatsionnyye tekhnologii v Globalnoy informatsionnoy infrastrukture* [*Information and Communication Technologies in the Global Information Infrastructure*]. St. Petersburg: Nauka

Publ., 2008, 552 p. (rus)

8. **Kuleshov I.A., Raschesova A.G.** *Kontseptsii otsenki effektivnosti sovremennykh sistem svyazi Modelirovaniye razvitiya informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem* [*Concept evaluation of the effectiveness of modern communication systems. Modelling of development of information and telecommunication systems*]. St. Petersburg: Sintez-Buk Publ., 2009, Pp. 146–190. (rus)

9. **Kudryashov V.A., Kraskovskiy A.Ye. comp. Vladimir Nikolayevich Listov. Uchenyy, pedagog, chelovek. Sbornik statey i vospominaniy** [*Vladimir Nikolayevich Listov. Scientist, teacher, man. Collection of articles and memoirs*]. St. Petersburg: Informatsionnyy tsentr «Vybor» Publ., 2002, 136 p. (rus)

10. **ITU-T RECOMMENDATION I.380-internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters.**

11. **Kleinrock L.** *On Flow Control in Computer Networks*. Computer Science Department University of California, Los Angeles, California, 2002.

12. **Lokhmotko V.V.** *Modeli i metody optimizatsii struktury telekommunikatsionnykh setey: Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk* [*Models and methods of optimization of the structure of telecommunication networks*]. St. Petersburg: SPbGUT Publ., 2009. (rus)

13. **Moigak N.N.** *Modeli, metody i algoritmy analiza protsessov funktsionirovaniya infokommunikatsionnykh transportnykh sistem: Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk* [*Models, methods and algorithms for the analysis of processes of functioning of info-communication transport systems*]. St. Petersburg: SPbGUT Publ., 2009. (rus)

14. **Giessler A., Koenig A., Haenle J., Pade E.** *Deadlock-Free Packet Networks*, 2007.

15. **Zeigler B.P.** *Theory of modelling and simulation*. Wiley, 2006, P. 211.

---

**КАРГАНОВ Виталий Вячеславович** – старший научный сотрудник Военной академии связи имени С.М. Буденного, кандидат технических наук.

194064, Россия, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

E-mail: vitalik210277@mail.ru

**KARGANOV Vitaly V.** *Military Academy of communications named after S.M. Budyonny.*

194064, Tikhoretsky Ave. 3, St. Petersburg, Russia.

E-mail: vitalik210277@mail.ru

**РАСЧЕСОВА Антонина Григорьевна** — научный сотрудник Военной академии связи имени С.М. Буденного, кандидат технических наук.

194064, Россия, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

E-mail: tshlagra@mail.ru

**RASCHESOVA Antonina G.** *Military Academy of communications named after S.M. Budyonny.*

194064, Tikhoretsky Ave. 3, St. Petersburg, Russia.

E-mail: tshlagra@mail.ru

**КУДРЯШОВ Владимир Александрович** — профессор кафедры электрической связи Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, кандидат технических наук.

190031, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9.

E-mail: Kudriashov37@mail.ru

**KUDRIASHOV Vladimir A.** *Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.*

190031, Moskovsky Ave. 9, St. Petersburg, Russia.

E-mail: Kudriashov37@mail.ru