



Прогностическая оценка пропускных способностей каналов связи



Ирина САФОНОВА
Irina E. SAFONOVA

Яков ГОЛДОВСКИЙ
Yakov M. GOLDOVSKIY



Борис ЖЕЛЕНКОВ
Boris V. ZHELENKOV

Сафонова Ирина Евгеньевна – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.
Голдовский Яков Михайлович – кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.
Желенков Борис Владимирович – кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.

Prognostic Assessment of Communication Channel Transit Capacity

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 195)

Предложен новый метод, позволяющий выполнить прогностическую оценку пропускной способности канала связи для минимизации времени передачи данных в телекоммуникационной сети, определить «узкие места» и избыточность пропускного ресурса на этапе проектирования. Сделаны соответствующие расчеты, обоснованы оценочные критерии производительности сетей и их элементов, величины коэффициента задержки сетевого оборудования. Результаты экспериментальной проверки показали, что полученные расчетные значения качества сетевых услуг для различных типов информации отвечают требованиям рекомендаций МСЭ-Т G. 1010.

Ключевые слова: канал связи, телекоммуникационные сети, пропускная способность, трафик, задержка передачи, избыточность, среда передачи данных, сетевое устройство.

В данный момент ОАО «Российские железные дороги» имеет единую информационно-вычислительную инфраструктуру, объединенную в крупнейшую в стране волоконно-оптическую магистральную цифровую сеть передачи данных, которая постоянно развивается. Помимо этого, совершенствуются локальные сети для обеспечения информационного обмена в пределах отдельных технологических участков (станция, депо и т.д.) [1].

В процессе проектирования сетей возникает проблема выбора сетевого оборудования с определенной пропускной способностью. Здесь можно пойти по двум направлениям – экстенсивному и интенсивному. При использовании экстенсивного подхода сети строятся по стандартному шаблону, без учета индивидуальных требований организации. Это часто приводит к построению «избыточных» сетей, росту их стоимости и увеличению сроков реализации. Применение интенсивного подхода требует на начальном этапе провести прогностическую оценку по критериям, кото-

рые первостепенны для интересов организации, и уже в соответствии с этим проектировать сеть.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Как известно, одним из основных критериев оценки качества телекоммуникационных сетей является производительность, которая складывается из времени реакции, пропускной способности, задержки передачи и ее вариаций. Пропускная способность подразделяется на мгновенную, максимальную, среднюю, отдельных элементов (например, каналов связи), а также общую для всей сети [2].

Целью прогностической оценки пропускной способности канала связи становится минимизация времени передачи данных в сети ($t_{n.cp.}$). Время передачи на i -м канале ($t_{n.cp.i}$) определяется пропускной способностью и объемом проходящего трафика [2, 3]:

$$t_{n.cp.i} = \frac{V_i}{\lambda_i}, \quad (1)$$

где V_i – объем проходящего трафика по i -му каналу связи, байт; λ_i – пропускная способность i -го канала, байт/с.

Канал связи в любой телекоммуникационной сети является составным. Здесь под каналом связи будем понимать набор элементов сети, которые необходимы для передачи информации между парой абонентов (пользователей, клиентом и сервером).

Пропускная способность i -го канала связи определяется пропускной способностью составных элементов сети: сегментов физической среды передачи информации – множеством Λ_{pi} , а также сетевого оборудования – множеством Λ_{di} .

Множества Λ_{pi} и Λ_{di} содержат следующие элементы:

$$\Lambda_{pi} = \{\lambda_{pi1}, \dots, \lambda_{pij}, \dots, \lambda_{pik}\}, \quad (2)$$

где λ_{pij} – пропускная способность j -го сегмента физической среды передачи данных на i -м канале связи, байт/с; k – число сегментов;

$$\Lambda_{di} = \{\lambda_{di1}, \dots, \lambda_{dij}, \dots, \lambda_{dik-j}\}, \quad (3)$$

где λ_{dij} – пропускная способность j -го сетевого устройства передачи данных на i -м канале, байт/с.

Пропускная способность будет определяться по самому худшему из составных элементов канала связи. Следовательно, нужно выбрать минимальные значения элементов множеств Λ_{pi} и Λ_{di} . Обозначим их соответственно через λ_{pi}^{\min}

и λ_{di}^{\min} . Тогда ожидаемая пропускная способность i -го канала связи для сети:

$$\lambda_i = \lambda_i^{\min} = \min(\Lambda_{di} \cup \Lambda_{pi}), \quad (4)$$

где $\Lambda_i = \Lambda_{dij} \cup \Lambda_{pij}$, $\Lambda_i = \{\lambda_{i1}, \dots, \lambda_{im}\}$, причем $\Lambda_{di} \subset \Lambda_i$ и $\Lambda_{pi} \subset \Lambda_i$.

Так как мощность множества Λ_i велика, то для нахождения минимальных значений целесообразно использовать метод полного перебора [4].

Максимальная пропускная способность элементов, входящих в множество Λ_{pi} , является фиксированной и определяется производителем [4, 5–7]. Максимум элементов, входящих в Λ_{di} , тоже определяется производителем, но здесь способность становится блокирующей – «узким местом» в случае, если объем проходящего трафика в единицу времени больше пропускной способности внутренней или выходного порта [5–7].

Тогда с учетом предполагаемого объема трафика можно определить коэффициент задержки на сетевом оборудовании [4]:

$$K_{zij} = \frac{\left(\sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min}\right) \cdot V_c}{V_{\min} \cdot \lambda_{dij}^{\min}} \cdot n_{ij} = \frac{\left(\sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min}\right) \cdot V_c \cdot n_{ij}}{V_{\min} \cdot \lambda_{dij}^{\min}}, \quad (5)$$

где n_{ij} – число портов сетевого оборудования ij ; V_c – размер передаваемого пакета, байт; V_{\min} – минимальный размер пакета, байт; S – число сегментов физической среды передачи информации, подключенных к данному сетевому оборудованию.

При расчете $\sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min}$ необходимо учитывать пропускную способность физической среды на входе сетевого оборудования и его выходе.

Для определения среднего времени передачи данных в канале связи можно использовать выражение:



Пропускные способности внутренней шины различных сетевых устройств

Продукт	Тип	Пропускная способность внутренней шины
3750x24T/3750x24P	Коммутатор	95 Мpps
3750x48T/3750x48P	Коммутатор	101.2 Мpps
catalyst 4500E	Коммутатор	250 Мpps
7600 SIP-400	Маршрутизатор	6,2 Мpps
7600 SIP-600	Маршрутизатор	25 Мpps
ASR 1004/1006	Маршрутизатор	8 Мpps

$$t_{n,cp,i} = \frac{V_i}{\lambda_i^{\min}} \left(\frac{\left(\sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min} \right) \cdot V_c}{V_{\min} \lambda_{dij}^{\min}} n_{ij} \right) = \frac{V_i}{\lambda_i^{\min}} \left(\frac{\left(\sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min} \right) \cdot V_c \cdot n_{ij}}{V_{\min} \cdot \lambda_{dij}^{\min}} \right) = \frac{V_i}{\lambda_i^{\min}} K_{zij} \quad (6)$$

С учетом формулы (4)

$$\lambda_i^{\min} = \lambda_{dij}^{\min} + \sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min} \quad (7)$$

следовательно:

$$t_{n,cp,i} = \frac{V_i}{\lambda_{dij}^{\min} + \sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min}} K_{zij} \quad (8)$$

Помимо $t_{n,cp,i}$ для оценки работы канала связи может использоваться среднее время задержки в сети ($t_{з,ср}$). Время задержки на i -м канале ($t_{з,ср,i}$) определяется суммой времен задержек на всех его элементах. К оценке $t_{з,ср,i}$ применим подход, аналогичный уже рассмотренному, и потому в расчетах могут присутствовать время задержки физической среды передачи данных ($t_{з,ср,i}$) и время задержки оборудования ($t_{з,ди}$).

$$t_{з,ср,i} = \sum_1^k t_{з,ср,ij} \quad (9)$$

где $t_{з,ср,ij}$ – время задержки j -го сегмента физической среды передачи данных на i -м канале связи, с; k – число сегментов.

При этом опять же следует отметить, что время передачи через физический сегмент не является блокирующим и остается относительно малой величиной, которой можно

пренебречь при определении среднего времени задержки на канале связи:

$$t_{з,ди} = \sum_1^{k-1} (t_{з,ср,ij} \cdot K_{zij}), \quad (10)$$

где $t_{з,ср,ij}$ – время задержки j -го сетевого устройства передачи данных на i -м канале связи, которое служит паспортным значением устройства.

Тогда выражение для оценки $t_{з,ср,i}$ запишется следующим образом:

$$t_{з,ср,i} = t_{з,ди} = \sum_1^{k-1} (t_{з,ср,ij} \cdot K_{zij}). \quad (11)$$

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАДЕРЖКИ СЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В качестве примера рассмотрим сетевое оборудование одного из известных производителей Cisco (таблица 1) [5–7].

Для коммутатора (3750x24T/3750x24P Series Switch) пропускная способность внутренней шины 95 Мpps. Рассчитаем по формуле (5) коэффициент задержки при передаче кадров средней длины – 764 байта (К.3.764) и кадров максимальной длины – 1500 байт (К.3.1500).

$$K_{з764} = \frac{2 \cdot (100 \cdot 10^6) \cdot 764 \cdot 24}{95 \cdot 10^6 \cdot 64} = 1,18.$$

$$K_{з1500} = \frac{2 \cdot (100 \cdot 10^6) \cdot 1500 \cdot 24}{95 \cdot 10^6 \cdot 64} = 2,32.$$

Коэффициент задержки коммутатора 3-го уровня (3750x24T/3750x24P) составляет 1,18 для кадров средней длины и 2,32 для кадров максимальной длины. Пропускная способность физической среды на входе и выходе одинаковая и равна 100 Мбит/с.

Далее по формуле (8) и с учетом формул (1) – (7) рассчитываем время передачи данных на i -м канале связи, в который входит данный коммутатор, для кадров средней длины и максимальной.

$$t_{n.sp.i} = \frac{764 \cdot 8}{100 \cdot 10^6} \cdot 1,18 = 72,12 \text{ мкс};$$

$$t_{n.sp.i} = \frac{1500 \cdot 8}{100 \cdot 10^6} \cdot 2,32 = 278 \text{ мкс}.$$

Таким образом, рассчитав все коэффициенты задержек сетевого оборудования, можно провести предварительную оценку времени передачи требуемого объема данных и времени задержки, что позволяет дать прогностическую оценку пропускной способности проектируемой сети.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения задач проектирования телекоммуникационных сетей имеется множество моделей и методов, однако разработанный метод является новым [3, 8–10]. Существующие (классические) способы проектирования опираются на построение типовых схем и не учитывают интенсивность прохождения трафика, что приводит к повышенной избыточности, низкой эффективности использования оборудования и высокой стоимости проекта [2, 8–10]. Демонстрируемый метод является уникальным, поскольку позволяет определить «узкие места», избыточность в сети уже на начальном этапе ее создания и внести необходимые изменения.

Результаты экспериментальной проверки показали, что полученные расчетные значения применительно к качеству сетевых услуг для различных типов информации полностью соответствуют требованиям рекомендаций

МСЭ-Т G.1010. Метод легко автоматизируется и адаптируется к изменению функциональных зависимостей, он может быть использован в системах моделирования и проектирования телекоммуникационных сетей.

Разработанный метод (основные расчеты) применялся при проектировании сети Республики Союз Мьянма [11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Положение о департаменте информатизации открытого акционерного общества «Российские железные дороги» от 18.11.2013 № 373: URL: <http://jd-doc.ru/2013/пouabr-2013/4895-polozhenie-oao-rzhd-ot-18-11-373>. Доступ 22.03.2015.
2. Safonova I. E. On one Approach to Modeling Enterprise-Wide Function-Oriented Computer Networks. // Telecommunications and Radio Engineering // Begell House. Inc. Publishers – Vol. 71, № 12, 2012, pp. 1087–1101.
3. Сафонова И. Е. Выбор пропускных способностей каналов связи // Компьютеры в учебном процессе. – 2007. – № 4. – С. 7–18.
4. Желенков Б. В., Сан Вин Аунг. Критерии выбора сетевого оборудования // Мир транспорта. – 2012. – № 1. – С. 128–131.
5. Cisco Catalyst 3750-X and 3560-X Series Switches, Data sheet, USA, 2011.
6. Cisco Catalyst 4500E, Data sheet, USA, 2011.
7. Cisco 7600 Series Route, Data sheet, January 2008.
8. Кнутов Е. Н., Кутузов О. И. Построение концептуальной модели Lan Emulation сетей: [портал GPSS. RU]. URL: <http://www.gpss.ru/immod05/s2/knutov>. Доступ 20.03.2015.
9. Вишневецкий В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 396 с.
10. Сафонова И. Е. Методы и модели оценки основных характеристик корпоративных функционально-ориентированных сетей в САПР. – М: МИЭМ, 2007. – 344 с.
11. Сан Вин Аунг. Прогнозирование интернет-трафика в Мьянме // Мир транспорта. – 2011. – № 3. – С. 124–127. ●

Координаты авторов: **Сафонова И. Е.** – irina.chernenko.2011@mail.ru, **Голдовский Я. М.** – goldovsky_ym@mail.ru, **Желенков Б. В.** – boriszhv@newmail.ru.

Статья поступила в редакцию 09.06.2015, актуализирована 23.07.2015, принята к публикации 18.10.2015.

PROGNOSTIC ASSESSMENT OF COMMUNICATION CHANNEL TRANSIT CAPACITY

Safonova, Irina E., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.
Goldovskiy, Yakov M., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.
Zhelenkov, Boris V., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

A new method is proposed to perform predictive assessment of communication channel capacity in order to minimize transmission time in telecommunication network, to identify «bottlenecks» and redundancy of throughput resource in the design phase. Appropriate calculations are made, evaluation

Keywords: communication channel, telecommunication networks, capacity, traffic, transmission delay, redundancy, communication media, network device.

criteria of network performance and their elements are justified, as well as delay coefficient of network equipment. The results of experimental verification showed that obtained calculated values of the quality of network services for different types of information meet the requirements of ITU-T G.1010 recommendations.



Background. Currently JSC «Russian Railways» has a unified information-computer infrastructure, implemented in the country's largest fiber-optic backbone digital data transmission network, which is constantly evolving. Besides local networks are being improved for information exchange within individual process sections (stations, depots, etc.) [1].

In the process of network design problem of choice of network equipment with a certain network capacity arises. Here it is possible to go in two directions – extensive and intensive. If we use an extensive approach, networks are built according to default template, without regard to individual requirements of the organization. This often leads to construction of «excess» networks, increase in their cost and increase in terms of implementation. The use of intensive approach requires initially to carry out a prognostic assessment on criteria that are paramount to the interests of the organization and to design a network in accordance with this.

Objective. The objective of the authors is to consider issue of prognostic assessment of communication channel capacity.

Methods. The authors use general scientific and engineering methods, mathematical methods, evaluation approach.

Results.

Determination of network capacity

As it is known, one of the main criteria for assessing the quality of telecommunication networks is performance, which consists of response time, network capacity, transmission delay and its variation. The network capacity is divided into immediate, maximum, average, of individual elements (e.g., communication channels), overall network capacity [2].

The purpose of prognostic assessment of channel capacity becomes minimization of data transmission time in the network ($t_{av,i}$). The transmission time on the i -th channel ($t_{av,tri}$) is determined by the network capacity and traffic volume [2, 3]:

$$t_{av,tri} = \frac{V_i}{\lambda_i}, \tag{1}$$

where V_i is traffic volume on the i -th communication channel, bytes; λ_i is capacity of the i -th channel, bytes / sec.

The communication channel in any telecommunication network is an aggregate link. Here, the communication channel will mean a set of network elements that are required to transmit information between a pair of subscribers (users, clients and servers).

The capacity of the i -th communication channel is determined by the capacity of constituent elements of a network: segments of physical medium of information transmission – set Λ_{pj} and network equipment or devices – set Λ_{di} .

Sets Λ_{pj} and Λ_{di} contain the following elements:

$$\Lambda_{pj} = \{\lambda_{pj1}, \dots, \lambda_{pj}, \dots, \lambda_{pjk}\}, \tag{2}$$

where λ_{pj} is capacity of the j -th segment of physical medium of data transmission on the i -th communication channel, bytes/sec; k is a number of segments;

$$\Lambda_{di} = \{\lambda_{di1}, \dots, \lambda_{di}, \dots, \lambda_{dik-1}\}, \tag{3}$$

where λ_{di} is capacity of the j -th network device for data transmission on the i -th channel, bytes/sec. The capacity will be determined by the worst of constituent elements of the communication channel. Therefore, it is necessary to select minimum values of the elements of the sets Λ_{pj} and Λ_{di} . Let's denote them respectively as λ_{pi}^{\min} and λ_{di}^{\min} .

Then the expected capacity of i -th communication channel for the network:

$$\lambda_i = \lambda_i^{\min} = \min(\Lambda_{di} \cup \Lambda_{pi}), \tag{4}$$

where $\Lambda_i = \Lambda_{di} \cup \Lambda_{pi}$, $\Lambda_i = \{\lambda_{i1}, \dots, \lambda_{im}\}$, and $\Lambda_{di} \subset \Lambda_i$ and $\Lambda_{pi} \subset \Lambda_i$.

Since the cardinality of the set Λ_i is small, then in order to find minimal values it is appropriate to use full enumeration method [4].

The maximum capacity of the elements included in the set Λ_{pi} is fixed and determined by the manufacturer [4–7]. Maximum of elements included in Λ_{di} is also determined by the manufacturer, but here the capacity becomes blocking – the «bottleneck» arises in the case if the traffic volume per unit time is more than internal carrying capacity either than port bandwidth [5–7].

Then, based on the projected traffic delay factor can be determined at the network equipment [4]:

$$K_{sij} = \frac{\left(\sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min}\right) \cdot V_c}{V_{min} \cdot \lambda_{dij}^{\min}} = \frac{\left(\sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min}\right) \cdot V_c \cdot n_{ij}}{V_{min} \cdot \lambda_{dij}^{\min}}, \tag{5}$$

where n_{ij} is a number of ports of network equipment ij ; V_c is size of transmitted package, bytes; V_{min} is minimum size of package, bytes; S is a number of segments of physical medium of information transmission connected to this network equipment.

In calculating $\sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min}$ it is necessary to consider the physical environment capacity at the input of the network equipment and at its output.

To determine the average data (package) transmission time in the communication channel the expression can be used:

$$t_{av,p,i} = \frac{V_i}{\lambda_i^{\min}} \left(\frac{\left(\sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min}\right) \cdot V_c}{V_{min} \cdot \lambda_{dij}^{\min}} \cdot n_{ij} \right) = \tag{6}$$

$$= \frac{V_i}{\lambda_i^{\min}} \left(\frac{\left(\sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min}\right) \cdot V_c \cdot n_{ij}}{V_{min} \cdot \lambda_{dij}^{\min}} \right) = \frac{V_i}{\lambda_i^{\min}} C_{delij}$$

With account of the formula (4)

$$\lambda_i^{\min} = \lambda_{dij}^{\min} + \sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min}, \tag{7}$$

hence:

$$t_{av,p,i} = \frac{V_i}{\lambda_{dij}^{\min} + \sum_{s=1}^S \lambda_{pij}^{\min}} C_{delij}. \tag{8}$$

In addition to $t_{av,p,i}$ to assess the performance of the communication channel the average delay time in the network ($t_{av,del,i}$) can be used. The delay in the i -th channel ($t_{av,del,i}$) is the sum of delay times on all its elements. Estimating $t_{av,del,i}$ we can apply approach similar to already considered, and therefore in the calculation we can see the delay time of the physical medium of data transmission ($t_{av,del,pi}$) and delay time of equipment ($t_{del,di}$).

$$t_{del,pi} = \sum_{j=1}^k t_{del,p,j}, \tag{9}$$

where $t_{del,p,j}$ is delay time of the j -th segment of physical medium of data transmission on the i -th communication channel, sec; k is a number of segments.

Here again it should be noted that the transmission through a physical segment is not blocking and remains relatively small quantity, which can be neglected in determining the average delay time within the communication chan-

nel:

$$t_{del,di} = \sum_{j=1}^{k-1} (t_{del,dij} \cdot C_{del,ij}), \quad (10)$$

where $t_{del,dij}$ is delay time of the j -th network device for data transmission within the i -th communication channel, which is the certified value of the device.

Then the expression for the evaluation of $t_{av,del,i}$ is written as follows:

$$t_{av,del,i} = t_{del,di} = \sum_{j=1}^{k-1} (t_{del,dij} \cdot C_{del,ij}). \quad (11)$$

Calculation of delay coefficient of network equipment

Let's consider as an example network equipment of one of the famous manufacturers Cisco (table 1) [5–7].

For commutator (3750x24T/3750x24P Series Switch) bandwidth of internal bus is 95 Mpps. Let's consider using the formula (5) delay coefficient when transmitting frames of medium length – 764 bytes ($C_{del,764}$) and frames of maximum length – 1500 bytes ($C_{del,1500}$).

$$C_{del,764} = \frac{2 \cdot (100 \cdot 10^6) \cdot 764 \cdot 24}{95 \cdot 10^6 \cdot 64} = 1,18,$$

$$C_{av,1500} = \frac{2 \cdot (100 \cdot 10^6) \cdot 1500 \cdot 24}{95 \cdot 10^6 \cdot 64} = 2,32.$$

Delay coefficient of commutator of the 3rd level (3750x24T/3750x24P) is 1,18 for frames of medium length and 2,32 for frames of maximum length. The capacity of the physical environment at the input and output is identical and equal to 100 Mbit/s.

Further, using the formula (8) and taking into account formulas (1) – (7) we calculate data transmission time within the i -th communication channel, which includes this commutator for frames of medium and maximum length.

$$t_{av,p,i} = \frac{764 \cdot 8}{100 \cdot 10^6} \cdot 1,18 = 72,12 \text{ ms};$$

$$t_{av,p,i} = \frac{1500 \cdot 8}{100 \cdot 10^6} \cdot 2,32 = 278 \text{ ms}.$$

Thus, after calculating all delay coefficients of network equipment, it is possible to conduct a preliminary assessment of the required data transmission time and delay time that allows a prognostic assessment of projected network carrying capacity.

Conclusion. To meet the challenges of designing telecommunication networks there are many models and methods, however, developed method is new [3, 8–10]. Existing (classic) design methods are based on the construction of templates and do not account for the intensity of the traffic, resulting in an increased redundancy, low efficiency of equipment and high cost of the project [2, 8–10]. Demonstrated method is unique because it allows to identify «bottlenecks», redundancy in the network at an early stage of its creation and to make necessary changes.

The results of experimental verification showed that the obtained calculated values in relation to the quality of network

Table 1

Bandwidth of internal bus of various network devices

Product	Type	Bandwidth of internal bus
3750x24T/3750x24P	Commutator	95 Mpps
3750x48T/3750x48P	Commutator	101.2 Mpps
catalyst 4500E	Commutator	250 Mpps
7600 SIP-400	Router	6,2 Mpps
7600 SIP-600	Router	25 Mpps
ASR 1004/1006	Router	8 Mpps

services for different types of information fully comply with the requirements of recommendations of ITU-T G. 1010. The method is easily automated and adapted to changes in functional relationships, and can be used in systems of modeling and engineering of telecommunication networks.

The developed method (basic calculation) was used in the design of the network of the Republic of the Union of Myanmar [11].

REFERENCES

1. Statute of the Department of Information of JSC «Russian Railways» of 18.11.2013 № 373 [Polozhenie o departamente informatizacii otkrytogo akcionernogo obshchestva «Rossijskie zheleznye dorogi» ot 18.11.2013 № 373]. <http://jd-doc.ru/2013/nyabr-2013/4895-polozhenie-oao-rzhd-ot-18-11-373>. Last accessed 22.03.2015.
2. Safonova, I. E. On one Approach to Modeling Enterprise-Wide Function-Oriented Computer Networks. *Telecommunications and Radio Engineering* (Begell House. Inc. Publishers), Vol. 71, 2012, Iss. 12, pp. 1087–1101.
3. Safonova, I. E. Selecting communication channel capacity [Vybor propusknyh sposobnostey kanalov svyazi]. *Kompyutery v uchebnom processe*, 2007, Iss. 4, pp. 7–18.
4. Zhelenkov, B. V., Sann Win Aung. Criteria for Selection of Network Devices. *World of Transport and Transportation*, Vol. 10, 2012, Iss. 1, pp. 128–131.
5. Cisco Catalyst 3750-X and 3560-X Series Switches, Data sheet, USA, 2011.
6. Cisco Catalyst 4500E, Data sheet, USA, 2011.
7. Cisco 7600 Series Route, Data sheet, January 2008.
8. Knutov, E. N., Kutuzov, O. I. Construction of a conceptual model of Lan Emulation networks [Postroenie konceptual'noj modeli Lan Emulation setej]. <http://www.gps.ru/immod05/s2/knutov/>. Last accessed 20.03.2015.
9. Vishnevsky, V. M. Theoretical bases of computer networks design [Teoreticheskie osnovy proektirovaniya komp'yuternyh setej]. Moscow, Tehnosfera publ., 2003, 396 p.
10. Safonova, I. E. Methods and models of evaluation of main characteristics of corporate function-oriented networks in CAD [Metody i modeli ocenki osnovnykh harakteristik korporativnykh funkcional'no-orientirovannykh setej v SAPR]. Moscow, MIEM publ., 2007, 344 p.
11. Sann Win Aung. Forecasting of Internet Traffic in Myanmar. *World of Transport and Transportation*, Vol. 9, 2011, Iss. 3, pp. 124–127. ●

Information about the authors:

Safonova, Irina E. – D.Sc. (Eng.), professor at the department of Computer systems and networks of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, irina.chernenko.2011@mail.ru.

Goldovskiy, Yakov M. – Ph.D. (Eng.), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, goldovsky_ym@mail.ru.

Zhelenkov, Boris V. – Ph.D. (Eng.), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, boriszhv@newmail.ru.

Article received 09.06.2015, revised 23.07.2015, accepted 18.10.2015.

