

УДК 004.6

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБЪЕМ БАЗОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

М. О. Колбанёв^а, доктор техн. наук, профессор

Т. М. Татарникова^б, доктор техн. наук, доцент

^аСанкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, РФ

^бСанкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, РФ

Постановка проблемы: понятие «объем сигнала» позволяет определять достаточные условия для передачи сигнала по каналу связи, но не связано с технологиями передачи данных и требуемыми для них ресурсами. Количество ресурсов, необходимое для практической реализации информационных процессов, зависит как от вида используемых информационных технологий, так и от информационного объема сигнала. Целью работы является обобщение методов расчета информационного объема для базовых информационных процессов — сохранения, распространения и обработки данных. **Результаты:** для каждого вида технологии — сохранения, распространения и обработки — выделены ключевые ресурсы, необходимые для достижения информационного объема, соответствующего поступающим сигналам. Выделены основные составляющие базовых информационных процессов, влияющие на их информационный объем: характеристика информационного объема, физический и технологический ресурсы. Показано, что общим для всех технологий является зависимость информационного объема от используемых физических, технологических и математических ресурсов, а частным — вид ключевых физических и технологических ресурсов, определяющих эффективность использования технологий в процессе информационного взаимодействия. **Практическая значимость:** определение ресурсов, необходимых для достижения информационного объема, позволит управлять требованиями пользователей к объемным характеристикам информационного обмена.

Ключевые слова — базовые информационные процессы, базовые информационные технологии, сохранение данных, распространение данных, обработка данных, физические ресурсы информационной технологии, технологические ресурсы информационной технологии, математические ресурсы информационной технологии, информационный объем сигнала, информационный объем канала связи, информационный объем запоминающего устройства, информационный объем процессора.

Введение

В теории передачи сигналов введено понятие «объем сигнала» [1] — это информационная характеристика источника, вычисляемая как объем прямоугольного параллелепипеда, ребра которого имеют длину, равную длительности сигнала, его спектру и превышению уровня сигнала над помехой. Объем параллелепипеда пропорционален объему данных, которые поступили от источника и должны быть переданы по каналу связи.

Такое представление используется для согласования сигнала и канала связи. Можно, например, подстраиваясь под время доступности канала, уменьшить длительность сигнала, но тогда для сохранения объема передаваемых данных придется увеличить его спектр. Если канал имеет низкий уровень допустимой мощности сигнала, то можно увеличить длительность сигнала и т. д. Во всех случаях основанием для придания параметрам сигнала тех или иных значений являются свойства канала связи.

Объем сигнала не связан с технологиями передачи данных и требуемыми для них ресурсами, а лишь определяет достаточные условия для передачи сигнала по каналу связи.

В более общем случае можно утверждать, что количество ресурсов [2], которое требуется для

практической реализации информационных процессов, зависит от двух факторов:

— вида используемых информационных технологий;

— информационного объема сигнала, который задает требования пользователей к объемным характеристикам информационного обмена.

В статье обобщаются методы расчета информационного объема для трех базовых информационных процессов [3] — сохранения, распространения и обработки данных. Это позволило для технологии каждого вида выделить ключевые ресурсы, необходимые для достижения информационного объема, соответствующего поступающим сигналам.

Информационный объем сигнала

Характеристика информационного объема сигнала измеряется в битах и позволяет сопоставить объем данных, выработанных источником информации, с возможностями памяти, канала связи и процессора. В общем случае информационный объем сигнала источника $V_{\text{инф}}$ зависит от (рис. 1, а):

— времени формирования данных источником $T_{\text{ист}}$ [с];

— скорости (частоты) формирования знаков информационной последовательности $F_{\text{ист}}$ [зн./с]: $F_{\text{ист}} = m/T_{\text{ист}}$, где m — количество знаков, кото-

рые могут быть сформированы источником за время $T_{\text{ист}}$;

— количества бит, содержащихся в одном знаке, $B_{\text{ист}}$ [бит]: $B_{\text{ист}} = \log_2 n$, где n — количество разных значений, которые источник может присваивать знаку, если предположить, что эти значения равновероятны.

С учетом введенных обозначений информационный объем сигнала

$$V_{\text{инф}} = T_{\text{ист}} F_{\text{ист}} B_{\text{ист}} = m \log_2 n.$$

В геометрическом смысле объем сигнала $V_{\text{инф}}$ соответствует объему параллелепипеда, построенного в пространстве (T, F, B) . Значение $V_{\text{инф}}$ не будет изменяться, если, например:

— уменьшать время $T_{\text{ист}}$, но пропорционально увеличивать скорость $F_{\text{ист}}$ и (или) количество бит $B_{\text{ист}}$;

— увеличивать время $T_{\text{ист}}$, но пропорционально уменьшать скорость $F_{\text{ист}}$ и т. д. (рис. 1, б).

Использование понятия «объем сигнала» [4] и выделение его составляющих дает возможность управлять процессом формирования потока данных, поступающих от источника информации.

Сигнал, выработанный источником информации, подлежит преобразованию при помощи информационных технологий. Рассмотрим методы оценки информационного объема для технических устройств трех базовых информационных технологий:

— информационный объем запоминающих устройств;

— информационный объем канала связи;

— информационный объем процессора.

Эти объемные характеристики должны соответствовать объему преобразуемого сигнала и зависят от трех типов количественных ресурсов, потребляемых технологиями:

1) физических ресурсов, позволяющих оценить возможность реализации информационного взаимодействия физической средой;

2) технологических ресурсов, позволяющих сравнить возможности разных технологий, реализующих один и тот же информационный процесс;

3) математических ресурсов, характеризующих вычислительную сторону цифровых информационных технологий.

Информационный объем запоминающего устройства

Запоминающее устройство (ЗУ) используется для реализации базового информационного процесса сохранения, имеет вещественно-предметную форму, определенный размер и переносит во времени (сохраняет) группу минимальных единиц хранения (МЕХ). Общее представление о возможностях и способах управления ЗУ как переносчика сигнала во времени дает объем ЗУ $V_{\text{зу}}$, который (рис. 2, а) зависит от физического, технологического и математического ресурсов ЗУ. К этим ресурсам, соответственно, относятся:

— геометрический размер (площадь) ЗУ $S_{\text{зу}}$ [кв. дюйм];

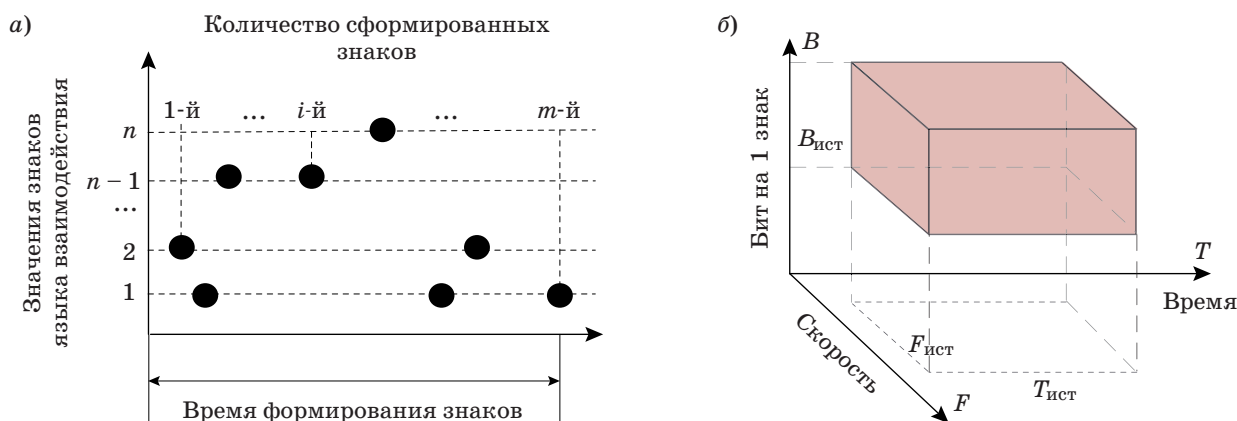
— плотность размещения МЕХ $D_{\text{зу}}$ [зн. кв. дюйм], которая связана с размером одной МЕХ: $D_{\text{зу}} = M/S_{\text{зу}}$, где M — количество МЕХ, помещающихся на площади $S_{\text{зу}}$;

— количество бит, которое сохраняет одна МЕХ, $B_{\text{зу}}$ [бит]: $B_{\text{зу}} = \log_2 N$, где N — число состояний одной МЕХ, если эти состояния равновероятны. Величина N зависит от уровня энергетического барьера, устанавливаемого при записи между состояниями МЕХ.

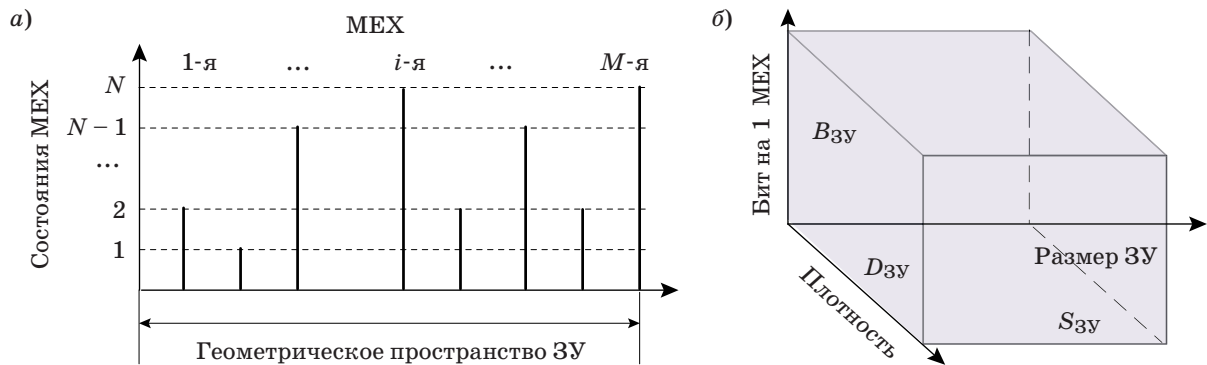
Соответственно введенным обозначениям объем ЗУ

$$V_{\text{зу}} = S_{\text{зу}} D_{\text{зу}} B_{\text{зу}} = M \log_2 N.$$

Геометрически объем ЗУ представляет собой куб, общий вид которого в осях, соответствующих трем типам ресурсов, показан на рис. 2, б.



■ Рис. 1. Характеристики (а) и геометрическое представление (б) информационного объема сигнала V



■ Рис. 2. Характеристики (а) и геометрическое представление (б) объема ЗУ

Достаточным условием возможности сохранения сигнала информационным объемом $V_{инф}$ на ЗУ объемом $V_{ЗУ}$ в реальном масштабе времени является соотношение $V_{инф} \leq V_{ЗУ}$.

Согласовать возможности ЗУ с объемами данных, подлежащих сохранению, можно, изменяя $S_{ЗУ}$, $D_{ЗУ}$ и (или) $B_{ЗУ}$.

Если ЗУ совместно используется группой пользователей и свободный объем ЗУ меньше объема сигнала, который требуется сохранить, то сохранение станет возможным только после освобождения недостающей части объема ЗУ, а это зависит от поведения других источников информации и увеличивает время доступа к ресурсам систем хранения [5].

Информационный объем канала связи

Каналы связи образуются путем мультиплексирования линий связи и переносят в пространстве сигналы, сформированные источниками информации. Общее представление о возможностях и способах управления каналами связи дает объем канала V_k [бит] (рис. 3, а), который также зависит от физических, технологических и матема-

тических ресурсов технологии. Применительно к базовому информационному процессу распространения такими ресурсами, соответственно, являются:

— доступное время использования канала для передачи данных T_k [с];

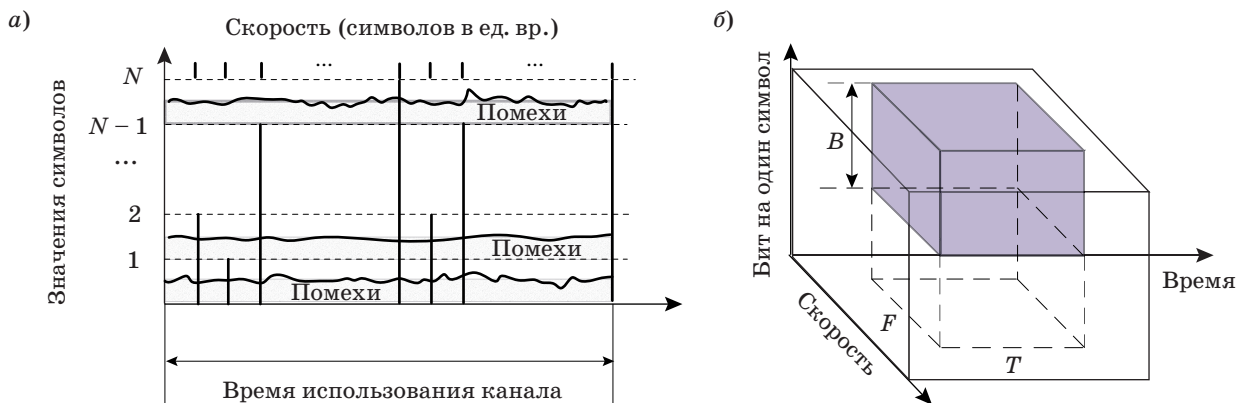
— скорость (частота) передачи дискретных символов, информационной последовательности по каналу связи F_k [бод]. Очевидно, что количество M символов, передаваемое за время T_k , прямо пропорционально времени T_k и частоте F_k , т. е. $M = F_k T_k$;

— количество бит, которое переносит один символ, B_k [бит]: $B_k = \log_2 N$, где N — число состояний одного символа, если разные состояния равновероятны. Величина N зависит от соотношения уровней сигнала и помехи в канале связи [6].

Таким образом, объем канала можно определить по формуле

$$V_k = T_k F_k B_k = M \log_2 N.$$

Необходимым условием возможности передачи сигнала информационным объемом $V_{инф}$ по каналу объемом V_k является соотношение $V_{инф} \leq V_k$.



■ Рис. 3. Характеристики (а) и геометрическое представление (б) объема канала

Достаточные условия для передачи в реальном масштабе времени выполняются, если параллелепипед, отображающий параметры сигнала, «помещается» в параллелепипед, отображающий параметры канала (рис. 3, б).

Если канал используется группой пользователей и имеет свободный объем, меньший объема заявленного сигнала, то передача станет возможной только после освобождения достаточного объема канала, а это зависит от поведения других источников информации и увеличивает время доступа к ресурсам системы распространения [7].

Производительность и информационный объем процессора

Для сравнения вычислительной способности процессоров используются показатели их производительности. Одним из таких показателей, дающим общее представление о возможностях процессора как обработчика данных (вычислителя), является его пиковая производительность $G_{пр}$ [оп./с], которая зависит от двух параметров: тактовой частоты $F_{пр}$ [Гц] и объема процессора $V_{пр}$: $G_{пр} = F_{пр} V_{пр}$.

Тактовая частота $F_{пр}$ задает наибольшее количество тактов работы процессора в секунду и относится к числу важнейших технологических ресурсов. В свою очередь величина $V_{пр}$ зависит от физических, технологических и математических ресурсов (рис. 4, а), к числу которых, соответственно, относятся:

- число вычислительных ядер у процессора $k_{пр}$. Увеличение числа ядер дает возможность параллельной обработки [8] и, с учетом принципа Ландауэра [9], непосредственно определяет объем потребляемой энергии;
- количество операций, выполняемых за один такт работы вычислительного ядра, $r_{пр}$;
- количество состояний логических элементов, от которого зависит система счисления, поддерживаемая процессором, $B_{пр}$.

Соответственно, объем процессора $V_{пр}$ определяется как $V_{пр} = k_{пр} r_{пр} B_{пр}$.

Геометрическое представление величины $V_{пр}$ дано на рис. 4, б.

В вычислительных науках введено понятие алгоритмического объема сигнала $V_{алг}$. Этот объем задает сложность алгоритма в количестве операций, которые требуется выполнить для получения искомого данных из исходных [10, 11]. Величина $V_{алг}$ зависит не только от особенностей алгоритма, но и от объема входных данных (информационного объема сигнала $V_{инф}$) и от особенностей самих данных.

Оценкой снизу для времени $T_{алг}$ обработки сигнала с алгоритмическим объемом $V_{алг}$ [оп.] при помощи процессора с пиковой производительностью $G_{пр}$ [оп./с] является отношение $T_{алг} = V_{алг} / G_{пр}$.

Реальная производительность всегда меньше пиковой и зависит от согласованности сигнала и архитектуры процессора.

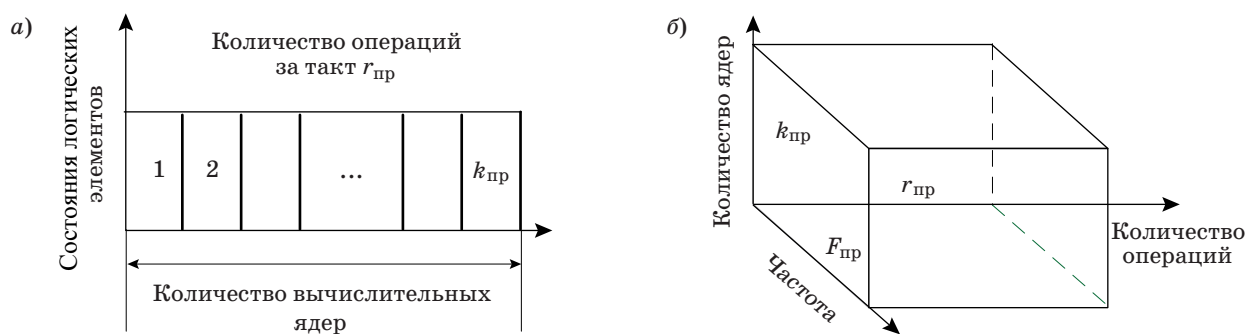
Для оценки реальной производительности используются бенчмарки (программные тесты). Самым распространенным сегодня является тест LINPACK. Он определяет время решения большой системы линейных уравнений и состоит, в основном, из операций сложения и умножения с двойной точностью.

Заключение

В статье для трех базовых информационных процессов выделены основные составляющие, определяющие их информационный объем (таблица).

Показано, что информационный объем любой технологии зависит от физических, технологических и математических ресурсов. Это связано с единой природой разных информационных процессов, предназначенных для организации информационного взаимодействия путем передачи данных во времени, в пространстве или за счет обработки данных.

Для каждого вида базового информационного процесса можно выделить основные физические и технологические ресурсы, отличающие их



■ Рис. 4. Характеристики (а) и геометрическое представление (б) объема процессора

■ Ресурсы базовых информационных процессов

Составляющие информационного объема	Базовый информационный процесс		
	Сохранение	Распространение	Обработка
Характеристика информационного объема	Объем ЗУ $V_{ЗУ}$	Объем канала V_K	Объем процессора $V_{пр}$
Физический ресурс	Площадь ЗУ $S_{ЗУ}$	Время использования T_K	Энергия (количество ядер $k_{пр}$)
Технологический ресурс	Плотность записи $D_{ЗУ}$	Скорость передачи символов F_K	Тактовая частота $F_{пр}$ и количество операций за такт $r_{пр}$
Математический ресурс	Количество состояний МЭХ $B_{ЗУ}$	Количество состояний символа B_K	Количество состояний логического элемента $B_{пр}$

от других базовых технологий. Для процесса сохранения данных такими ресурсами являются, соответственно, линейные размеры и плотность записи, для процесса распространения — доступное время использования канала и скорость пере-

дачи по нему символов информационной последовательности, для процесса обработки — энергия, затрачиваемая на каждом такте обработки, и количество операций, реализуемых за один такт вычислительным ядром.

Литература

1. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений. — М.: Сов. радио, 1970. — 731 с.
2. Советов Б. Я., Колбанёв М. О., Татарникова Т. М. Модель физических характеристик сигналов // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2013): материалы VIII Санкт-Петербургской межрегиональной конф., Санкт-Петербург, 2013. С. 65–66.
3. Советов Б. Я., Колбанёв М. О., Татарникова Т. М. Технологии инфокоммуникации и их роль в обеспечении информационной безопасности // Геополитика и безопасность. 2014. № 1. С. 69–77.
4. Бураченко Д. Л., Ключев Н. Н., Коржик В. И., Финк Л. М. Общая теория связи / под ред. Л. М. Финка. — Л.: ВАС, 1970. — 412 с.
5. Татарникова Т. М., Аль-Хаками А. М. Оценка вероятностно-временных характеристик сетей хранения данных SAN // Программные продукты и системы. 2009. № 4. С. 177–179.
6. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. — 830 с.
7. Советов Б. Я., Колбанёв М. О., Татарникова Т. М. Оценка вероятности эрланговского старения информации // Информационно-управляющие системы. 2013. № 6. С. 25–28.
8. Татарникова Т. М., Кутузов О. И. Подход к оптимизации структуры межсетевых устройств с привлечением генетических алгоритмов // Известия ГЭТУ «ЛЭТИ». 2006. № 1. С. 61–67.
9. Landauer R. Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process // IBM J. of Research and Development. 1961. Vol. 5. P. 183–191.
10. Tatarnikova T., Kolbanev M. Statement of a Task Corporate Information Networks Interface Centers Structural Synthesis // IEEE EUROCON. Saint-Petersburg, 2009. P. 1883–1887.
11. Татарникова Т. М. К расчету основных характеристик шлюза распределенных сетей // Тр. учебных заведений связи. 2000. № 166. С. 62–68.

UDC 004.6

Information Volume of Basic Information Processes

Kolbanev M. O.^a, Dr. Sc., Tech., Professor, mokolbanev@mail.ru

Tatarnikova T. M.^b, Dr. Sc., Tech., Associate Professor, tm-tatarn@yandexl.ru

^aSaint-Petersburg State University of Economics, 21, Sadovaia St., 191023, Saint-Petersburg, Russian Federation

^bSaint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaja St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation

Purpose: The concept of "signal volume" allows you to define sufficient conditions for the transmission of signals over a communication channel, but it is not related to data transfer technologies and data resources required for them. The amount of resources necessary for practical implementation of information processes depends on the type of the information technology

and on the information volume of the signal. The goal of this research is to generalize the methods of calculating the volume of information for basic information processes: preservation, distribution and processing of data. **Results:** For each type of technology (preservation, dissemination and processing) the key resources are defined which are necessary to achieve the information volume corresponding to the input signals. For the basic information processes, their main components are shown which affect their data volume. It is demonstrated that what is common for all the technologies is the dependency of the information volume on the used resources (physical, technological and mathematical), and what is individual for them is the type of the main physical and technological resources which determine the efficiency of the information exchange. **Practical relevance:** Determining resources necessary to achieve the required information volume allows the users to manage their requirements to the volume characteristics of the information exchange.

Keywords — Basic Information Processes, Basic Information Technologies, Data Storage, Data Transmission, Data Processing, Physical Resources for Information Technology, Technological Resources for Information Technology, Mathematical Resources for Information Technology, Information Volume Signal, Information Volume Communication Channel, Information Volume Storage, Information Volume Processor.

References

1. Fink L. M. *Teoriia peredachi diskretnykh soobshchenii* [The Theory of Discrete Messages Transmission]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1970. 731 p. (In Russian).
2. Sovetov B. Y., Kolbanev M. O., Tatarnikova T. M. Model the Physical Characteristics of Signals. *Materialy VIII Sankt-Peterburgskoi mezhhregional'noi konferentsii "Informatsionnaia bezopasnost' regionov Rossii (IBRR-2013)"* [Proc. VIII Int. Conf. "Information Security of Russian Regions"]. Saint-Petersburg, 2013, pp. 65–66 (In Russian).
3. Sovetov B. Y., Kolbanev M. O., Tatarnikova T. M. Infocommunication Technologies and their Role in Information Security. *Geopolitika i bezopasnost'*, 2014, vol. 25, no. 1, pp. 69–77 (In Russian).
4. Burachenko D. L., Kliuev N. N., Korzhik V. I., Fink L. M. *Obshchaia teoriia svyazi* [General Theory of Communication]. Leningrad, VAS Publ., 1970. 412 p. (In Russian).
5. Tatarnikova T. M., Ali Alhakami A. M. Likelihood-time Characteristics Estimation of Storage Area Network. *Programmye produkty i sistemy*, 2009, vol. 88, no. 4, pp. 177–179 (In Russian).
6. Shannon C. *Raboty po teorii informatsii i kibernetike* [Works on Information Theory and Cybernetics]. Moscow, Izdatel'stvo inostrannoi literatury Publ., 1963. 830 p. (In Russian).
7. Sovetov B. Y., Kolbanev M. O., Tatarnikova T. M. Evaluation of Probability of Erlang Information Aging. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2013, no. 6, pp. 25–28 (In Russian).
8. Tatarnikova T. M., Kutuzov O. I. Approach to Optimize the Structure of Internetworking Devices Involving Genetic Algorithms. *Izvestiia GETU "LETI"*, 2006, no. 1, pp. 61–67 (In Russian).
9. Landauer R. Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process. *IBM Journal of Research and Development*, 1961, vol. 5, pp. 183–191.
10. Tatarnikova T., Kolbanev M. Statement of a Task Corporate Information Networks Interface Structural Synthesis. *IEEE EUROCON*. Saint-Petersburg, 2009, pp. 1883–1887.
11. Tatarnikova T. M. On the Calculation of the Main Characteristics of the Gateway WAN. *Trudy uchebnykh zavedenii svyazi*, 2000, no. 166, pp. 62–68 (In Russian).