



УДК 681.518.3

Н. В. Лысенко, А. М. Мончак  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)  
ул. Профессора Попова, д. 5, Санкт-Петербург, 197376, Россия

## Анализ эффективности гетерогенных видеоинформационных систем на основе критерия доминирования

**Аннотация.** Рассмотрены подходы к оценке эффективности функционирования гетерогенных видеоинформационных систем. Показано, что модель иерархии как количественное описание структурно-функциональной организации может служить средством анализа информационных потоков и эффективности системы в терминах теории графов. Аналитически представлен критерий доминирования для оценки эффективности гетерогенных видеоинформационных систем. Показано, что в нагруженном графе гетерогенной системы веса отдельных узлов представляют эффективность этого узла, причем с его увеличением растет степень влияния (доминирования) данного узла на остальные узлы системы и на систему в целом, и обратно, со снижением веса узла повышается его зависимость от других узлов. Рассмотрено влияние длины межузловых путей на эффективность системы с учетом частичной потери информации при ее распространении по графу. Приведены численные расчеты эффективности систем на основе критерия доминирования, результаты которых подтверждают указанные теоретические положения.

**Ключевые слова:** гетерогенная система, критерий доминирования, эффективность видеоинформационных систем, оргграф системы

**Для цитирования:** Лысенко Н. В., Мончак А. М. Анализ эффективности гетерогенных видеоинформационных систем на основе критерия доминирования // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2018. № 3. С. 57–62.

N. V. Lysenko, A. M. Monchak  
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"  
5, Professor Popov Str., 197376, St. Petersburg, Russia

### Analysis of the Effectiveness of Heterogeneous Video Information Systems on the Basis of the Dominance Criterion

**Absrtact.** The approaches to the evaluation of the efficiency of the functioning of heterogeneous video information systems are considered. It is shown that the hierarchy model as a quantitative description of the structural and functional organization can serve as a means of analyzing information flows and system efficiency in terms of graph theory. The criterion of dominance for the evaluation of the efficiency of heterogeneous video information systems is analytically presented. It is shown that in the loaded graph of a heterogeneous system the weights of individual nodes represent the efficiency of this node, and with its increase the degree of influence (dominance) of this node on the remaining nodes of the system and on the system as a whole grows, and conversely, with a decrease in the weight of the node it rises its dependence on other nodes. The influence of the length of interstitial paths on the efficiency of the system is taken into account, taking into account the partial loss of information during its propagation through the graph. Numerical calculations of the efficiency of systems based on the dominance criterion are given, the results of which confirm the indicated theoretical positions.

**Key words:** heterogeneous system, domination criterion, effectiveness of video information systems, system digraph

**For citation:** Lysenko N. V., Monchak A. M. Analysis of the Effectiveness of Heterogeneous Video Information Systems on the Basis of the Dominance Criterion. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Rossii. Radioelektronika* [Journal of the Russian Universities. Radioelectronics]. 2018, no. 3, pp. 57–62. (In Russian)

**Введение.** Гетерогенная система представляет собой совокупность разнородных звеньев, объединенных для достижения определенной цели. Гетеро-

генные видеоинформационные системы (ГВИНС) создаются для восприятия информационного поля, его преобразования и обработки с целью из-

влечения разнородной информации, а также ее семантического анализа. В их состав входят приемники сигнала поля, преобразования полученного сигнала и его программной обработки – разнородные звенья, образующие гетерогенную систему.

Степень приспособленности ГВИНС к выполнению целевой функции принято оценивать значениями критериев эффективности (КЭ) [1]–[5]. КЭ учитывают структуру системы, значения ее характеристик, взаимодействие с внешней средой. Таким образом, КЭ определяются процессами функционирования системы. Их можно считать функционалом от этого процесса.

**КЭ гетерогенной системы.** Поскольку сложные системы работают в условиях действия случайных факторов, значения функционалов оказываются случайными величинами. Поэтому при расчете эффективности функционирования системы пользуются либо средними значениями соответствующих функционалов, либо их вероятностными характеристиками.

В многоцелевой задаче понятие оптимальности заменяется понятием недоминируемости [6]–[9]. В то время как решением одноцелевой задачи линейного программирования является оптимум целевой функции, решение многоцелевой задачи линейного программирования определяет множество недоминируемых (не имеющих преимуществ друг перед другом) альтернатив. Нахождение множества всех недоминируемых решений фиксирует в пространстве определения целевой функции совокупность точек, которые могут служить в качестве оптимальных решений.

В целях анализа информационных потоков и эффективности ГВИНС ей может быть сопоставлен ориентированный нагруженный граф (орграф). Узлы графа  $\alpha_i$  соответствуют звеньям системы, пути указывают влияние одних узлов на другие, длины (нагрузка [10]) этих путей  $L_{ik}$  отражают степень влияния, причем чем длиннее путь, тем меньшее влияние оказывает  $i$ -й узел-источник на  $k$ -й узел-приемник (что соответствует потере информации при передаче по пути). В результате основной характеристикой графа ГВИНС является матрица длин путей  $L = \{L_{ik}\}$ ,  $i, k = \overline{1, w_\alpha}$ , где  $w_\alpha$  – количество узлов. Каждый путь учитывается в матрице один раз на пересечении строки с номером узла-источника и столбца с номером узла-приемника.

При разработке графа ГВИНС предлагаются следующие основные предпосылки [2], [11]–[13]:

1. Доля активного участия отдельного  $i$ -го звена  $\alpha_i$  в реализации целевой функции системы количественно определяется значением критерия доминирования  $D_i$ . С ростом активности  $\alpha_i$  влияние поведения  $i$ -го звена на функционирование всей системы и, следовательно, на значение  $D_i$  возрастает, т. е. это звено в большей мере играет доминирующую роль. Можно положить, что при  $D_i > 0$   $i$ -е звено выполняет активную роль в реализации целевой функции; при  $D_i = 0$  оно нейтрально, а при  $D_i < 0$  это звено противодействует достижению системных целей.

2. Чем больше значение  $|D_i|$ , тем точнее следует задавать верхнюю и нижнюю границы изменения критерия доминирования  $i$ -го звена  $D_i$  и реализацию состояний  $\alpha_i$ .

3. С уменьшением  $|D_i|$  возрастает зависимость  $i$ -го звена от остальных звеньев системы; одновременно требование к точности реализации состояний  $\alpha_i$  снижается.

4. Степень организованности всей системы определяется значением критерия  $D$  ориентированного нагруженного графа.

Формализация  $D$ -критерия заключается в следующем:

1. Для двух узлов орграфа ( $i$ -го  $\alpha_i$  и  $k$ -го  $\alpha_k$ ) величины  $|L_{ik}|$  и  $|L_{ki}|$  тем больше, чем длиннее самый короткий соединяющий их путь, и тем меньше, чем больше количество минимальных путей, соединяющих эти узлы.

2. Чем больше путей ведут в  $i$ -й узел, тем больше он зависит от системы и тем меньше значение  $D_i$ .

3. Чем больше число путей, выходящих из  $i$ -го узла, тем больше его влияние на систему и тем больше значение  $D_i$ .

Изложенным формальным требованиям удовлетворяет критерий вида

$$D_i = \sum_{k=1}^{w_\alpha} |D_{ik}|.$$

Степень доминирования  $i$ -го узла над  $k$ -м определяется величиной

$$D_{ik} = \sum_{j=1}^{m_{ik}} (L_{ik})_j^{-1} - \sum_{l=1}^{m_{ki}} (L_{ki})_l^{-1},$$

где  $m_{ik}$  – число всех существующих в графе путей, ведущих из  $\alpha_i$  в  $\alpha_k$ ;  $m_{ki}$  – число всех существующих в графе путей, ведущих из  $\alpha_k$  в  $\alpha_i$ .

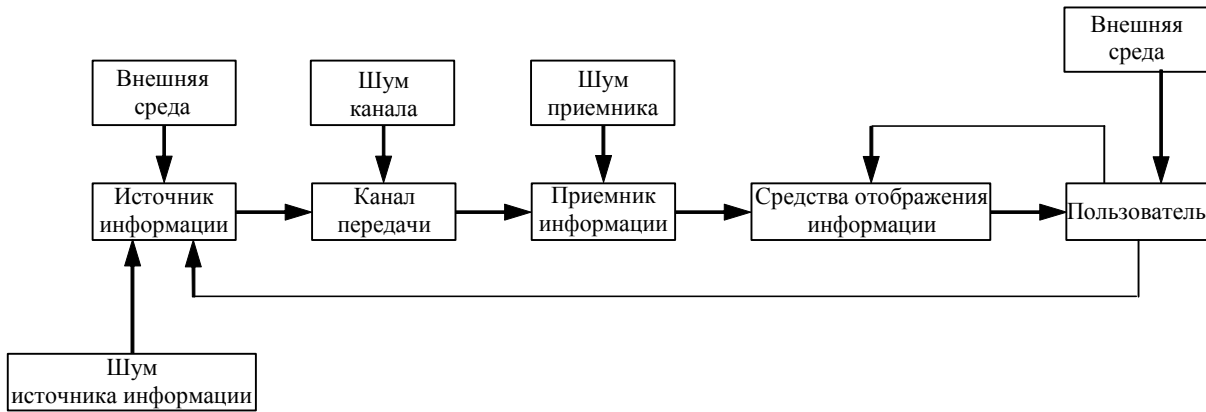


Рис. 1

Степень организованности всей системы определяется как

$$D_G = \sum_{i=1}^{W_\alpha} |D_i|. \quad (1)$$

Поскольку матрица длин путей в орграфе является дистрибутивной структурой, можно записать:

$$D_i = \sum_{k=1}^{w_\alpha} \sum_{j=1}^{m_{ik}} (L_{ik})_j^{-1} - \sum_{k=1}^{w_\alpha} \sum_{j=1}^{m_{ki}} (L_{ki})_j^{-1}. \quad (2)$$

Тогда в соответствии с (2) значения  $D_i$  рассчитываются по следующему алгоритму:

1. Суммируются строки матрицы  $L^{-1}$ , в результате образуется матрица-строка с размерами  $1 \times w_\alpha$ .
2. Суммируются столбцы матрицы  $L^{-1}$ , при этом получается матрица-столбец с размерами  $w_\alpha \times 1$ .
3. Матрица-столбец (п. 2) транспонируется, что приводит к образованию матрицы-строки.
4. Из первой матрицы-строки (п. 1) вычитается вторая матрица-строка (п. 3).

Аналитически эти операции записываются в следующем виде:

$$D_i = \left\{ \sum_{i=1}^{w_\alpha} \left[ \sum_{j=1}^{m_{ik}} (L_{ik})_j^{-1} \right] \right\}_k - \left\{ \sum_{k=1}^{w_\alpha} \left[ \sum_{j=1}^{m_{ki}} (L_{ki})_j^{-1} \right] \right\}_i^T, \quad (3)$$

где  $\{ор\}_k$ ,  $\{ор\}_i$  – почленная операция "ор" в матрице по координатам  $k$  и  $i$  соответственно; "Т" – символ транспонирования.

Мера структурной эффективности системы определяется степенью ее организованности, которая соответствует максимальному значению критерия  $D_G$ , вычисленного по (1).

Если определяется эффективность для систем, имеющих одинаковую целевую функцию, но разные реализации, то очевидно, что может быть

найдено максимальное значение критерия  $D_{G_{max}}$  для некоторой "идеальной" структуры. Под идеальной будем понимать структуру системы, в которой все процессы совершаются на максимально возможном для данного класса систем общесистемном уровне, а количество путей и узлов структуры конгруэнтно минимизировано. Это утверждение вытекает из того факта, что в нагруженном орграфе обязательно существует минимальный путь, соединяющий заданные узлы  $\alpha_i$  и  $\alpha_j$  [14].

Тогда структурная эффективность системы определяется из соотношения

$$\Xi = D/D_{max}. \quad (4)$$

**Пример.** На рис. 1 представлена структурная схема простейшей ГВИНС, обладающей информационной обратной связью. В системе учтены шумы источника информации, канала связи и приемника, а также влияния внешней среды.

Поставим в соответствие каждому  $i$ -му звену системы на рис. 1 элемент графа  $\alpha_i$ . Полученный граф системы представлен на рис. 2.

Отображаемую графом (рис. 2) структуру системы будем считать идеальной, так как в ней совершаются на максимально возможном для данного класса систем уровне все общесистемные процессы (основные информационные процессы, связь с внешней средой, два вида информационной обратной связи, влияние всех видов шумов).

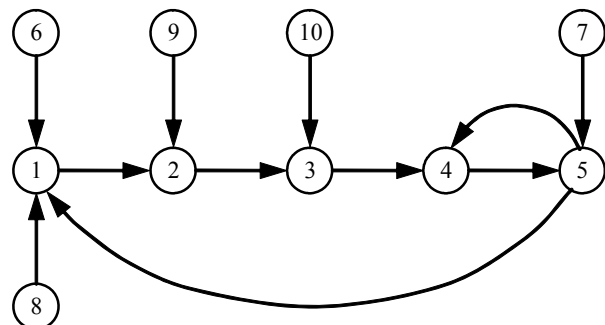


Рис. 2

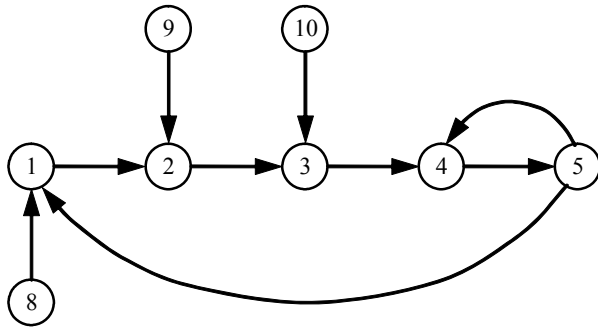


Рис. 3

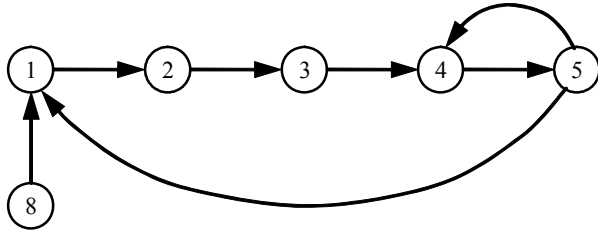


Рис. 4

Предположим, что каждый путь в орграфах характеризуется действием операторов  $q_i$  и сопровождается потерями информации  $\Delta\theta_i$ . Тогда к следующему узлу графа поступит информация  $\theta_i - \Delta\theta_i$ .

Поставим в соответствие длине пути от узла  $\alpha_i$  до  $\alpha_{i+1}$  относительные потери информации, которые могут быть получены в результате моделирования информационных процессов в системе:

$$L_{i, i+1} = \frac{\theta_i}{\theta_i - \Delta\theta_i} - 1,$$

т. е. чем меньше потери информации, тем короче длина пути. В предельных случаях при  $\Delta\theta_i = 0$ ,  $L = 0$ : информация передается без потерь; при  $\Delta\theta_i \rightarrow \theta_i$ ,  $L \rightarrow \infty$  и информация по этому пути не может быть передана.

Сравним идеальную структуру, отображенную графом  $G_{\max}$  (см. рис. 2) и две системы, имеющие ту же целевую функцию, но отличающиеся реализацией:  $G_3$  (рис. 3) и  $G_4$  (рис. 4). Орграфы этих систем получены последовательным исключением из рассмотрения влияния внешней среды ( $G_3$ ) и далее шумов ( $G_4$ ).

Таблица 1

Путь	$L_{ik}$	Путь	$L_{ik}$	Путь	$L_{ik}$	Путь	$L_{ik}$
1-2	0.25	4-5	0.66	8-1	0.25	10-3	0.25
2-3	0.11	5-4	5.0	7-5	1.0	5-1	2.0
3-4	0.25	6-1	0.11	9-2	0.25		

Таблица 2

$i$	$D_i$	$i$	$D_i$	$i$	$D_i$	$i$	$D_i$
1	9.6	4	2.7	7	-1.0	10	-4.0
2	4.0	5	1.8	8	-4.0		
3	9.1	6	-9.1	9	-4.0		

Априорные данные для расчета сведены в табл. 1. Значения  $D$ -критерия узлов орграфа идеальной ГВИНС (см. рис. 2), полученные по (3), сведены в табл. 2. Положительные значения критерия доминирования для звеньев  $\alpha_1 - \alpha_5$  свидетельствуют об активной роли этих элементов системы в достижении целевой функции. Напротив, отрицательные значения критерия у элементов 6-10 (шумы источника, канала связи, приемника и негативное влияние внешней среды) говорят о противодействии этих элементов эффективному достижению системной цели.

Значение  $D$ -критерия для идеальной структуры составляет  $D_{G_{\max}} = 54.36$ , для двух орграфов, выбранных для сравнения, он имеет значения  $D_{G_3} = 34.18$  и  $D_{G_4} = 17.18$ .

В силу идеальности ГВИНС с орграфом  $G_{\max}$  (см. рис. 2) ее эффективность  $\mathcal{E}_{G_{\max}} = 1.0$ . Для орграфов сравниваемых систем по (4) получены значения эффективности  $\mathcal{E}_{G_3} = 0.63$  и  $\mathcal{E}_{G_4} = 0.32$ .

Значительное уменьшение структурной эффективности ГВИНС для структур, в которых последовательно исключается влияние внешней среды и различного вида шумов, показывает, что подобные модели неадекватно представляют реальные процессы, происходящие в системе.

**Заключение.** В статье предложен  $D$ -критерий, позволяющий оценивать доминирование отдельных элементов системы в процессе достижения общей цели ее функционирования, а также выявлять структурную эффективность ГВИНС. Моделирование информационных процессов в системе позволяет получить исходные данные о потерях информации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хартли Р. Передача информации / пер. с англ. М.: Наука, 1963. 350 с.  
 2. Лысенко Н. В. Информационные гетерогенные системы. СПб.: Элмор, 2007. 160 с.

3. Gertz M. W., Stewart D. B., Khosla P. K. A human-machine interface or distributed virtual laboratories // IEEE Robotics & Automation Magazine. 1994. Vol. 1, № 4. P. 106-119.

4. How hyperstereopsis can improve the accuracy of spatial perception: an experimental approach // SPIE. 1998. Vol. 3021. P. 51–63.

5. Bakhtiari R., Labibi B. Emotional learning to control large-scale systems // Proc. of 16th IFAC World Congress. Prague, Czech Republic, July 4–8, 2005.

6. Chatlatanagulchai W., Meckl P. H. Model-Free Observer Backstepping Control Design for Nonlinear Systems in Strict Feedback Form / 43d IEEE Conf. on Decision and Control. Dec. 14–17, 2004. Atlantis, Paradise Island, Bahamas.

7. Chen J., Patton R. Robust Model-Based Fault Diagnosis for Dynamic Systems. Boston, MA: Kluwer, 1999.

8. Edwards Ch., Chce Pin Tan. Fault tolerant control using sliding mode observers // 43d IEEE Conf. on Decision and Control. Dec. 14–17, 2004. Atlantis, Paradise Island, Bahamas.

9. Interactive Analysis of Time-Varying Systems using Volume Graphics / J. Johansson, D. Lindgren, M. Cooper,

Статья поступила в редакцию 18 февраля 2018 г.

L. Ljung // Proc. of 43d IEEE Conf. on Decision and Control. Dec. 14–17, 2004. Atlantis, Paradise Island, Bahamas.

10. Горбатов В. А. Фундаментальные основы дискретной математики. Информационная математика. М.: Наука, 2000. 310 с.

11. Bask M., Johansson A. Robust time-varying thresholds for supervision of valves in a flotation process / 43d IEEE Conf. on Decision and Control. Dec. 14–17, 2004. Atlantis, Paradise Island, Bahamas.

12. Customer satisfaction degree evaluation model in logistic using SVM / Huali Sun, Jianning Xie, Shao-Yuan Li, Yaofeng Xue // Proc. of 16th IFAC World Congress. Prague, Czech Republic, July 4–8, 2005.

13. Multiagent Teamwork: Hybrid Approaches / P. Paruchuri, E. Bowring, R. Nair, J. P. Pearce, N. Schurr, M. Tambc, P. Varakantham // Computer society of India Communications. 2006.

14. Фляйшнер Г. Эйлеровы графы и смежные вопросы / пер. с нем. М.: Мир, 2002. 247 с.

**Лысенко Николай Владимирович** – доктор технических наук (2002), профессор (2003), заведующий кафедрой телевидения и видеотехники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина). Автор более 150 научных публикаций. Сфера научных интересов – гетерогенные видеоинформационные системы передачи и обработки информации; телевизионные сети и системы; влияние технических характеристик систем виртуальной реальности на эффективность деятельности операторов; моделирование видеоинформационных систем на основе теории графов.  
E-mail: nvlysenko@etu.ru

**Мончак Александр Маратович** – кандидат технических наук (1981), доцент (2004) кафедры телевидения и видеотехники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина). Автор 21 научной публикации. Сфера научных интересов – гетерогенные видеоинформационные системы передачи и обработки информации; телевизионные сети и системы.  
E-mail: monchak@yandex.ru

## REFERENCES

1. Khartli R. *Peredacha informatsii* [Transmission of Information]. Moscow, *Nauka*, 350 p. (In Russian)

2. Lysenko N. V. *Informatsionnye geterogennye sistemy* [Information Heterogeneous Systems]. SPb., *Elmor*, 2007, 160 p. (In Russian)

3. Gertz M. W., Stewart D. B., Khosla P. K. A Human-Machine Interface or Distributed Virtual Laboratories. *IEEE Robotics & Automation Magazine*. 1994, vol. 1, no. 4, pp. 106–119.

4. How Hyperstereopsis Can Improve The Accuracy Of Spatial Perception: An Experimental Approach. *SPIE*. 1998, vol. 3021, pp. 51–63.

5. Bakhtiari R., Labibi B. Emotional learning to control large-scale systems. *Proc. of 16th IFAC World Congress*. Prague, Czech Republic, July 4–8, 2005.

6. Chatlatanagulchai W., Meckl P. H. Model-Free Observer Backstepping Control Design for Nonlinear Systems in Strict Feedback Form. *43d IEEE Conf. on Decision and Control*. December 14–17, 2004. Atlantis, Paradise Island, Bahamas.

7. Chen J., Patton R. Robust Model-Based Fault Diagnosis for Dynamic Systems. Boston, MA, Kluwer, 1999.

8. Edwards Ch., Chce Pin Tan. Fault tolerant control using sliding mode observers. *43d IEEE Conf. on Decision and Control*. December 14–17, 2004. Atlantis, Paradise Island, Bahamas.

Received February, 18, 2018

9. Johansson J., Lindgren D., Cooper M., Ljung L. Interactive Analysis of Time-Varying Systems using Volume Graphics. *Proc. of 43d IEEE Conference on Decision and Control*. December 14–17, 2004. Atlantis, Paradise Island, Bahamas.

10. Gorbatov V. A. *Fundamental'nye osnovy diskretnoj matematiki. Informacionnaja matematika* [Fundamentals of Discrete Mathematics. Information Mathematics]. Moscow, *Nauka*, 2000, 310 p. (In Russian)

11. Bask M., Johansson A. Robust time-varying thresholds for supervision of valves in a flotation process. *43d IEEE Conf. on Decision and Control*. December 14–17, 2004. Atlantis, Paradise Island, Bahamas.

12. Sun Huali, Xie Jianning, Li Shao-Yuan, Xue Yaofeng. Customer satisfaction degree evaluation model in logistic using SVM. *Proc. of 16th IFAC World Congress*. Prague, Czech Republic, July 4–8, 2005.

13. Paruchuri P., Bowring E., Nair R., Pearce J. P., Schurr N., Tambc M., Varakantham P. Multiagent Teamwork: Hybrid Approaches. *Computer society of India Communications*, 2006.

14. Flyaishner G. *Eilerovy grafy i smezhnye voprosy* [Euler Graphs and Related Questions]. Moscow, *Mir*, 2002, 247 p. (In Russian)

**Nikolay V. Lysenko** – D.Sc. in Engineering (2002), Professor (2003), Chief of the Department of Television and Video equipment of Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". The author of more than 150 scientific publications. Area of expertise: heterogeneous video information systems for information transmission and processing; television networks and systems; influence of technical characteristics of virtual reality systems on the efficiency of operators; modeling of video information systems based on graph theory.

E-mail: [nvlysenko@etu.ru](mailto:nvlysenko@etu.ru)

**Alexander M. Monchak** – Ph.D. in Engineering (1981), Associate Professor (2004) of the Department of Television and Video equipment of Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". The author of 21 scientific publications. Area of expertise: heterogeneous video information systems for information transmission and processing; television networks and systems.

E-mail: [monchak@yandex.ru](mailto:monchak@yandex.ru)

---