

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛИКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОРСКОГО СУДНА

П. И. Смирнов^а, канд. техн. наук

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

Н. В. Яготинцева^в, старший преподаватель

^аСанкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, РФ

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

^вРоссийский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, РФ

Постановка проблемы: проектирование геоинформационной системы управления морским судном является сложным пошаговым процессом, отличающимся комбинированным применением этапов автоматической генерации вариантов архитектуры геоинформационной системы и экспертных решений. **Цель исследования:** разработка методического обеспечения формирования облика геоинформационной системы путем последовательного приближения ее архитектуры к заданному набору свойств. **Результаты:** предложена структурно-функциональная модель геоинформационной системы управления морским судном, количественное и качественное описание которой позволяет выполнить структурную оптимизацию геоинформационной системы под цели плавания. Разработана методика формирования облика геоинформационной системы управления морским судном, которая включает последовательность действий для приближения архитектуры геоинформационной системы к заданному набору свойств. Разработана экспертная система по выбору облика геоинформационной системы морского судна в рамках верификации предложенной методики проектирования, которая позволяет в диалоговом режиме формировать списочный состав необходимого оборудования и функциональных модулей геоинформационной системы. **Практическая значимость:** экспертная система может быть полезна при проектировании интегрированных систем управления морским динамическим объектом.

Ключевые слова — геоинформационная система динамического объекта, структурно-функциональная модель, количественные и качественные характеристики, методика формирования облика геоинформационной системы, экспертная система формирования облика геоинформационной системы.

Введение

Применение геоинформационных систем (ГИС) в управлении динамическими объектами является сложной комплексной задачей, требующей привлечения специальных математических моделей, методик и программно-аппаратных средств реализации ГИС. Особенно эта задача становится актуальной применительно к управлению морскими судами, поскольку возникает необходимость в реальном масштабе времени получать информацию о местоположении, окружающей обстановке, метеорологических условиях, рассчитывать загрузку пути, время прибытия и на основе этих данных принимать решения о прокладке и корректировке маршрута [1–3].

Анализ публикаций и нормативных документов последних 5–7 лет в вопросах технической реализации задач управления морскими судами показал, что это направление развивается в сторону интеграции существующих комплексов [4], станций, систем и функциональных элементов в единую ГИС морского судна, построенную на технологии локальной сети с коммутацией сегментов [5].

С другой стороны, реализация ГИС поддержки принятия решения при управлении морским

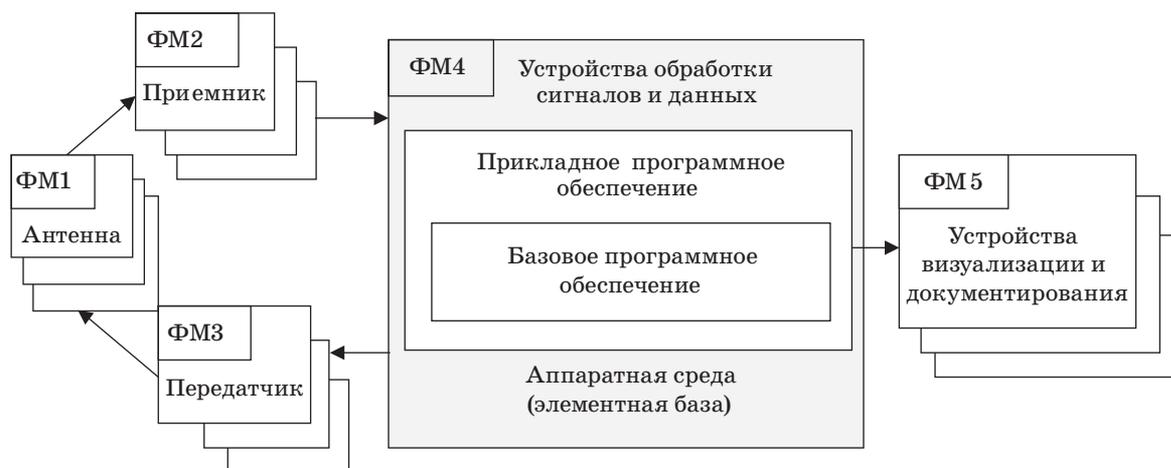
судном связана с рядом проблем, таких как необходимость оперировать большими объемами разнородных геоданных, поступающих от разных источников и зачастую в несовместимых форматах; стесненность площади для реализации инфраструктуры ГИС на судне; отсутствие комплексного подхода проектирования подобных ГИС с учетом существующих ограничений на ее производительность и надежность [6, 7].

Структурно-функциональная модель ГИС морского судна

Структурно-функциональная модель ГИС управления морским судном может быть представлена в виде трехслойной структуры: внутренний слой соответствует информационному обеспечению, средний — программному обеспечению и внешний — аппаратному обеспечению.

Информационное обеспечение ГИС морского судна определяют картографические данные и данные, необходимые для управления судном, вместе они образуют электронные картографические навигационные информационные системы [1].

Программное обеспечение реализует функциональные возможности ГИС и состоит из ба-



■ **Рис. 1.** Модель аппаратного обеспечения ГИС морского судна
 ■ **Fig. 1.** The model of ship geoinformation system hardware

зового программного обеспечения, такого как операционные системы, системы управления базами данных, системы визуализации данных и других систем, и прикладного программного обеспечения, предназначенного для решения специализированных задач судовождения, обработки сигналов, обработки и передачи данных и других задач.

Аппаратный слой ГИС представлен шестью функциональными модулями (ФМ), состоящими из устройств и средств [8], реализующих соответствующую функцию (рис. 1).

Транспортной основой распределенной ГИС является локальная вычислительная сеть с коммутацией сегментов, технология построения которой позволяет одновременно передавать данные между всеми взаимодействующими парами клиент-сервер [9–11].

Представим структурно-функциональную модель ГИС морского судна в следующем виде:

$$G = f(P, C, S), \quad (1)$$

где P — множество параметров, которые задаются как технические требования на функциональные модули ГИС; C — множество стоимостных характеристик функциональных модулей ГИС; S — множество пространственных параметров (форм-факторов) функциональных модулей ГИС.

Задачу исследования сформулируем как задачу разработки методического обеспечения для проектирования облика ГИС морского судна под заданные цели плавания с учетом ограничений на требуемые показатели производительности ГИС при работе с актуальными данными.

Выбор облика ГИС решается как целочисленная задача условной многопараметрической оптимизации с ограничениями второго рода по

стоимости, производительности и площади, выделяемой под проект ГИС:

$$C \rightarrow \min, \quad (2)$$

где C — стоимость ГИС, которая является аддитивной функцией стоимостных характеристик ее составных элементов;

$$\bar{t}_{\text{дост}}(G) \leq T_{\text{доп}}, \quad (3)$$

где $\bar{t}_{\text{дост}}(G)$ — среднее время доставки данных клиенту ГИС; $T_{\text{доп}}$ — ограничения на время доставки, рекомендуемые стандартами распространения пространственных данных;

$$S \leq S_{\text{доп}}, \quad (4)$$

где $S_{\text{доп}}$ — ограничения на выделяемые площади под ГИС на судне.

Для приближения архитектуры ГИС к заданному набору свойств (1)–(4) предложена методика, последовательность шагов которой приведена ниже.

Методика формирования облика ГИС

Методика формирования облика ГИС включает в себя, во-первых, алгоритм решения, обеспечивающий формирование инфраструктуры ГИС, и, во-вторых, приближение архитектуры ГИС к заданному набору свойств.

Алгоритм формирования инфраструктуры ГИС состоит из следующих действий.

1. Определение исходных данных для построения ГИС.

Исходными данными являются назначение объекта и морской район. Установление категории судна позволяет определить количество автоматизи-

рованных рабочих мест (АРМ) и предполагаемый объем геоинформации. Минимальный состав оборудования на судне дает морской район, который в Российской Федерации определяется Глобальной морской системой связи при бедствии.

2. Оценка временных характеристик.

Требования к времени обработки информации определяют исходя из времени приема пространственной информации с функциональных модулей ФМ1, ФМ2 и ФМ3 структурно-функциональной модели ГИС. Допустимое время передачи данных $T_{\text{доп}}$ будет прямо пропорционально удаленности источника распространения сигнала.

Проведенные эксперименты на математических моделях позволяют оценить $t_{\text{дост}}$ в каждом районе плавания.

3. Определение полного списочного состава элементов с техническими характеристиками, на которых строится ГИС, таких как канал связи и АРМ (процессор, жесткий диск, оперативная память), удовлетворяющими требованию производительности ГИС.

В случае если в списочном составе имеется по одному наименованию элементов, то этот список является единственным сценарием для комплексования аппаратуры, удовлетворяющего требованиям. В обратном случае проводится оптимизация структуры по стоимости и эргономике.

4. Определение «узкого» места в структуре ГИС.

При невыполнении директивных требований к передаче данных и обработке информации применяется характеристическое преобразование Лапласа — Стилтеса для определения «узкого» места маршрута от источника i к приемнику j . Это «узкое» место является причиной увеличения времени передачи данных [12].

Последовательность действий для приближения архитектуры ГИС к заданному набору свойств такова.

1. Анализ исходных данных:

1.1) определение минимального количества АРМ исходя из назначения и категории судна;

1.2) определение минимального состава оборудования в зависимости от морского района плавания;

1.3) определение количества узлов сети в зависимости от морского района плавания.

2. Расчет временных характеристик:

2.1) определение времени установления соединения с источником данных;

2.2) определение временных характеристик передачи данных в зависимости от морского района плавания;

2.3) определение времени обработки пространственных данных;

2.4) определение $t_{\text{дост}}$ до лица, принимающего решение при управлении морским судном, нормируя результаты пп. 2.1–2.3;

2.5) проверка условия ограничения, рекомендуемого стандартами распространения пространственных данных: $t_{\text{дост}} \leq T_{\text{доп}}$.

3. Определение полного списочного состава структурно-функциональной модели ГИС:

3.1) определение модели и количества сегментов локальной вычислительной сети исходя из директивных характеристик, установленных в п. 2.1;

3.2) определение вида кабеля исходя из директивных характеристик, установленных в п. 2.1 и 2.2;

3.3) определение списка моделей процессоров, ОЗУ, систем хранения исходя из директивных характеристик, рассчитанных в п. 2.3;

3.4) оптимизация списка оборудования обработки информации на АРМ по стоимостным характеристикам.

4. При невыполнении условия ограничения на время доставки, рекомендуемого стандартами распространения пространственных данных:

4.1) определение участка маршрута, вносящего наибольшую задержку;

4.2) рекомендации замены «узкого» места на другой узел с лучшими характеристиками производительности.

Особенности реализации экспертной системы

Выбор варианта инфраструктурного решения построения ГИС основан на сценарном подходе, согласно которому поиск решения идет от исходных данных к целевому параметру.

Экспертная система построена по модульному принципу и состоит из следующих компонентов: рабочей памяти, называемой также базой данных, базы знаний, решателя, подсистем приобретения знаний, объяснений и диалога.

База данных состоит из набора таблиц, которые хранят данные о навигационном оборудовании, наличие которого определено в требованиях Глобальной морской системы связи при бедствии, компонентах для формирования сети и наиболее важных компонентах АРМ.

База знаний определяет правила работы экспертной системы и имеет следующую логическую структуру:

— для определения количества АРМ:

ЕСЛИ $\langle \text{категория судна} \rangle = \langle \text{наименование} \rangle$,
ТО $\langle \text{количество АРМ} \rangle = n$;

— для определения количества узлов и времени доставки данных до приемника:

ЕСЛИ $\langle \text{морской район} \rangle = A_i, i = \overline{1, 4}$,
ТО $\langle \text{количество узлов без АРМ} \rangle = N$,
 $\langle \text{время доставки} \rangle = t_{\text{дост}}$;

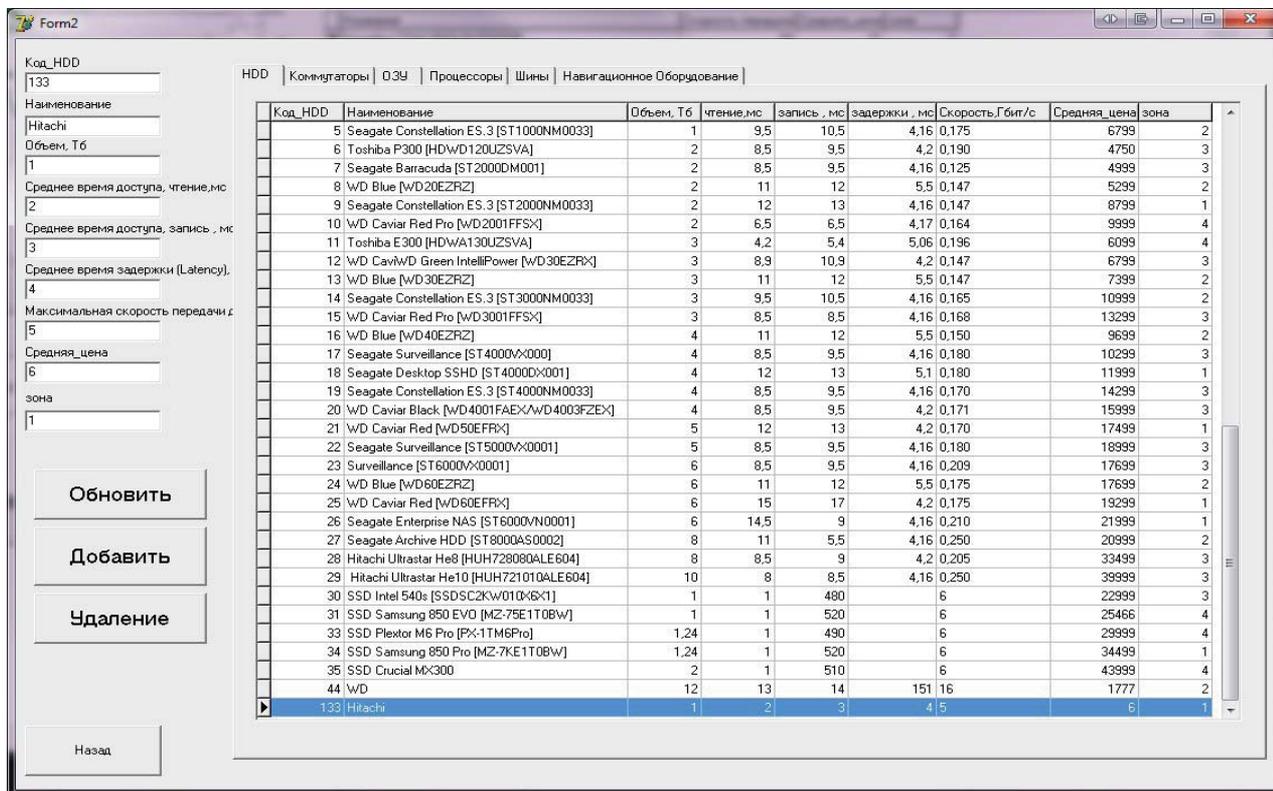
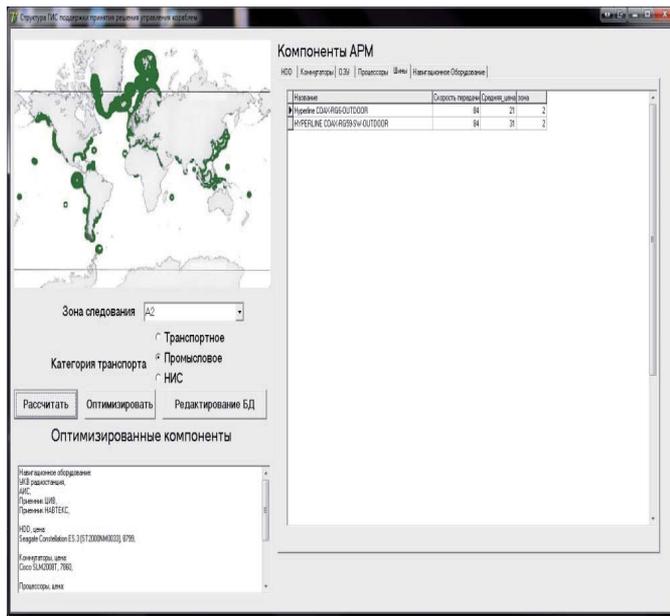
— для определения сценариев:

ЕСЛИ $\langle \bar{t}_{\text{дост}} \leq T_{\text{доп}} \rangle$, ТО \langle вывести полный списочный состав аппаратного слоя ГИС \rangle ;

ЕСЛИ \langle в списочном составе больше одного наименования в категориях \rangle , ТО оптимизировать по цене.

Решатель, исходя из определения типа судна и морского района плавания, определяет количество узлов ГИС и оценивает время доставки данных до системы в целях определения ограничений.

Интерфейс экспертной системы предусматривает ввод исходных данных в режиме диалога; выбор района плавания, границы которого визу-



■ Рис. 2. Интерфейс экспертной системы
 ■ Fig. 2. Expert system interface

ализируются на карте; выход на решатель и базу данных (рис. 2).

Экспертная система доступна для обновления информации, пополнения новыми правилами, расширения рабочей памяти.

Заключение

Предложенная структурно-функциональная модель ГИС морского судна отличается описанием иерархии компонентов, поддерживающих функциональность ГИС, что позволяет выполнить структурную оптимизацию ГИС принятия решения при управлении судном под цели плавания.

Для решения задачи формирования инфраструктуры ГИС поддержки принятия решения

при управлении морским судном предложена архитектура ГИС и последовательность действий для приближения этой архитектуры к заданному набору свойств.

Выбор облика ГИС морского судна реализован в виде экспертной системы, автоматизирующей последовательность проектирования ГИС морского судна. Экспертная система позволяет в диалоговом режиме формировать списочный состав функциональных модулей и оборудования ГИС. На основе логики, прописанной в базе знаний, реализовано взаимодействие решателя с рабочей памятью экспертной системы и применение математических моделей по оценке производительности проектируемой ГИС.

Литература

1. Бурханов М. В., Малкин И. М. Навигация с ЭКНИС. — М.: Моркнига, 2014. — 298 с.
2. Маркелов В. М., Соловьев И. В., Цветков В. Я. Интеллектуальные транспортные системы как инструмент управления // Государственный советник. 2014. № 3. С. 42–49.
3. Веселов Н. В., Рогов А. А., Кравчук И. С., Бортник О. А. Экспертное обеспечение транспортной логистики. — М.: Дашков и К°, 2013. — 230 с.
4. Татарникова Т. М., Яготинцева Н. В. Характеристика проблемы интеграции образцов радиоэлектронного вооружения корабля // Ученые записки РГГМУ. 2012. № 25. С. 156–162.
5. Tatarnikova T., Kolbanev M. Statement of a Task Corporate Information Networks Interface Centers Structural Synthesis // IEEE EUROCON 2009. Saint-Petersburg, 2009. P. 1883–1887.
6. Хейстонен Д. П., Смирнов П. И. Разработка методики учета влияния системы управления на тактико-технические характеристики телекоммуникационной сети специального назначения // Вопросы радиоэлектроники. 2012. Т. 3. № 3. С. 56–64.
7. Богатырев В. А., Кармановский Н. С., Попцова Н. А., Паршутин С. А., Воронина Д. А., Богатырев С. В. Имитационная модель поддержки проектирования инфокоммуникационных резервированных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 5(105). С. 831–838. doi:10.17586/2226-1494-2016-16-5-831-838
8. Tonenbaum A., Austin T. Structured Computer Organization. 6th ed. — Prentice Hall, 2012. — 800 p.
9. Tanenbaum A., Wetherall D. Computer Networks. 5th ed. — Prentice Hall, 2010. — 960 p.
10. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — СПб.: Питер, 2016. — 992 с.
11. Кутузов О. И., Татарникова Т. М. Моделирование систем и сетей телекоммуникаций. — СПб.: РГГМУ, 2012. — 134 с.
12. Богатырев В. А., Богатырев А. В., Богатырев С. В. Оценка надежности выполнения кластерами запросов реального времени // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 4. С. 46–48.

UDC 004.75

doi:10.15217/issn1684-8853.2017.6.52

Methodological Support of Ship Geoinformation System Formation

Smirnov P. I.^a, PhD, Tech., info@mashtab.org

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

Yagotinceva N. V.^c, Senior Lecturer, solnishko234@yandex.ru

^aSaint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49, Kronverkskii St., 197101, Saint-Petersburg, Russian Federation

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

^cRussian State Hydrometeorological University, 98, Malookhtinsky Pr., Russia, Saint-Petersburg, Russian Federation

Introduction: Developing a geoinformation control system for a sea-going vessel is a complex step-by-step process characterized by a combined application of stages at which its architecture is automatically generated, and expert solutions. **Purpose:** Providing

methodological support for the formation of a geoinformation system layout by sequentially approximating its architecture to a given set of properties. **Results:** A structural and functional model is proposed for a ship geoinformation control system a quantitative and qualitative description of which allows you to perform structural optimization of the system for navigation purposes. A technique is developed for forming the layout of a ship geoinformation control system, which comprises a sequence of actions to approximate the system architecture to a given set of properties. An expert system is developed to choose a ship geoinformation system layout in the framework of the proposed design methodology verification, which allows you to interactively form a list of necessary equipment and functional modules for the system. **Practical relevance:** An expert system can be useful in the development of integrated control systems for marine dynamic objects.

Keywords — Geoinformation System of a Dynamic Object, Structural and Functional Model, Quantitative and Qualitative Characteristics, Geoinformation System Layout Formation Technique, Expert System for Forming Geoinformation System Layout.

Reference

- Burhanov M. V., Malkin I. M. *Navigatsiia s EKNIS* [Navigation with ECDIS]. Moscow, Morkniga Publ., 2014. 298 p. (In Russian).
- Markelov V. M., Solovyov I. V., Cvetkov V. Ya. Intelligent Transport Systems as a Management Tool. *Gosudarstvennyy sovetnik*, 2014, no. 3, pp. 42–49 (In Russian).
- Veselov N. V., Rogov A. A., Kravchuk I. S., Bortnik O. A. *Ekspertnoe obespechenie transportnoi logistiki* [Expert Logistics of Transport Logistics]. Moscow, Dashkov i K' Publ., 2013. 230 p. (In Russian).
- Tatarnikova T. M., Yagotinceva N. V. Problem Description of Ship Armament Radio Electronic Standards Integration *Uchenye zapiski RGGMU*, 2012, no. 25, pp. 156–162 (In Russian).
- Tatarnikova T., Kolbanev M. Statement of a task Corporate Information Networks Interface Centers Structural Synthesis. *IEEE EUROCON 2009*, Saint-Petersburg, 2009, pp. 1883–1887.
- Hejstonen D. P., Smirnov P. I. Development of a Methodology for Influence Accounting of the Control System on the Tactical and Technical Characteristics of a special purpose Telecommunications Network. *Voprosy radioelektroniki*, 2013, vol. 3, pp. 26–30 (In Russian).
- Bogatyrev V. A., Karmanovsky N. S., Poptcova N. A., Parshutina S. A., Voronina D. A., Bogatyrev S. V. Simulation Model for Design Support of Infocomm Redundant Systems. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mehaniki i optiki* [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2016, vol. 16, no. 5, pp. 831–838 (In Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-5-831-838
- Tonenbaum A., Austin T. *Structured Computer Organization*. 6th ed. Prentice Hall, 2012. 800 p.
- Tanenbaum A., Wetherall D. *Computer Networks*. 5th ed. Prentice Hall, 2010. 960 p.
- Olifer V., Olifer N. *Komp'yuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly* [Computer Networks. Principles, Technologies, Protocols]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2016. 992 p. (In Russian).
- Kutuzov O. I., Tatarnikova T. M. *Modelirovanie sistem i setei telekommunikatsii* [Simulation of Systems and Telecommunications Networks]. Saint-Petersburg, RGGMU Publ., 2012. 134 p. (In Russian).
- Bogatyrev V. A., Bogatyrev A. V., Bogatyrev S. V. Evaluation of Reliability Performance Cluster Real-Time Query. *Izvestiia vuzov. Priborostroenie*, 2014, vol. 57, no. 4, pp. 46–48 (In Russian).