

А. И. КУЗЬМИЧ, О. В. БАРАНОВСКИЙ, А. Н. ВАЛЬВАЧЕВ

## СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ГИДРООБЪЕКТОВ

*Белорусский государственный университет ООО «Горнэлектроникс»*

*В статье рассматриваются результаты разработки системы мониторинга потенциально опасных гидрообъектов. Представлена формальная постановка задачи, модели сцены мониторинга и ее участников. Цена изначально ориентирована на постепенную замену участников-людей на системы с искусственным интеллектом. Модели носят унифицированный характер и допускают уточнение до уровня программного кода. На основе моделей построен проактивный алгоритм мониторинга, обеспечивающий фиксацию опасных ситуаций на начальной стадии их возникновения и оперативный синтез соответствующих управляющих решений. Алгоритм использует базу знаний, содержащую формализованные экспертные знания об особенностях наблюдаемых объектов и ресурсах администрации региона для борьбы с катастрофическими явлениями.*

*Для автоматизации решения разработан аппаратно-программный комплекс, использующий отечественные интеллектуальные датчики. Программы написаны в консольном варианте, требуют минимум вычислительных ресурсов. Особенность системы заключается в минимизации времени принятия решений и уменьшении их субъективизма за счет уменьшения роли человеческого фактора.*

*Комплекс предназначен для применения в районах, где возможны наводки водных объектов с катастрофическими последствиями.*

**Ключевые слова:** крупномасштабные системы, гидрообъекты, мониторинг, интеллектуальные системы.

### Введение

Характерной особенностью XXI в. является быстрое изменение климата, ведущее к изменению параметров многих природных объектов, включая реки, озера, ледники, леса, пустыни. Этот факт признается Организацией объединенных наций [1] и большинством ученых [2]. Для адаптации к изменениям правительства развитых стран формируют программные документы [3], государственные и частные компании разрабатываются методы и технологии для их практической реализации [4].

Одно из важнейших изменений – максимальное за время наблюдений повышение температуры в планетарном масштабе, которое привело к таянию ледников, увеличению количества ливней, тайфунов и других природных катастроф.

В число наиболее опасных изменений входит увеличение количества и масштаба паводков рек. Даже небольшие реки в результате разлива после ливней и таяния снега приводят к значительным разрушениям, что периодически наблюдается в Забайкалье, на Кавказе, Са-

халине и других местах. Известный пример – катастрофическое наводнение в г. Крымске (Россия) 6 июня 2012 г. В результате население и экономика терпят существенный убытки, увеличивается количество разрушений. Для минимизации последствий паводков необходимо обеспечить оперативное решение ряда задач, включая: наблюдение за водными объектами, диагностику их состояния, синтез управляющего решения и оперативное оповещение населения и эффективное устранение последствий [2]. Для достижения этих целей используются специализированные компьютерные системы мониторинга гидрообъектов, которые подразделяются на глобальные (государственные) и локальные (районные, областные).

Глобальные системы метеонаблюдения не всегда эффективны, так как их предупреждения и реакция административных органов на местах могут запаздывать, особенно в горных районах с большим количеством рек [2]. Одна из основных причин запаздывания – недостаточное количество локальных систем мониторинга и доминирование субъективизма (чело-

веческого фактора) в принятии решений на местах [4].

Для устранения этих недостатков необходимо разрабатывать недорогие и простые в эксплуатации областные и районные системы наблюдения и предупреждения на основе искусственного интеллекта [5]. Однако они развиваются недостаточно быстро, в частности, по причине отсутствия унифицированных технологий мониторинга, использующих интероперабельные программные модули и недорогое отечественное оборудование, включая интеллектуальные датчики и станции метеонаблюдения.

В статье обсуждаются результаты разработки интеллектуальной локальной системы для автоматической фиксации аварийных ситуаций на гидрообъектах и оперативного синтеза управляющих решений для уменьшения ущерба. Такие системы можно рассматривать как дополнение государственной метеослужбы, образующее сеть локальных региональных систем. Особенность предлагаемого решения: использование детализированной базы знаний о местных условиях и делегирование процессов мониторинга и принятия решений системе искусственного интеллекта, минимизирующей роль человеческого фактора.

### Понятийный базис

Прежде всего, сформируем понятийный базис, обеспечивающий однозначное понимание сущностей задачи для ЛПП, проектировщиков и программистов.

*Гидрообъект* (R) – природный или искусственный водный объект (река, озеро, море, водохранилище), параметры которого могут быть зафиксированы датчиками.

*Датчик* (dt) – устройство для измерения параметров объекта. Включает набор сенсоров и контроллер для обработки полученных сигналов.

*Автоматическая метеостанция* (aws) – устройство для измерения конечного множества параметров гидрообъекта (температуру, осадки, энергию солнца на квадратный метр и т. д.).

*Внешнее воздействие* (Z) – любое внешнее физическое воздействие на объект наблюдения, приводящий к изменению его гомеостаза. Например, ливень может катастрофически повысить уровень реки.

*ЛПП* – лицо (или группа лиц) в администрации региона, принимающее решения для минимизации последствий катастрофических явлений и организации спасательно-восстановительных работ.

*Искусственный интеллект* (ai) – обучаемый аппаратно-программный комплекс, решающий интеллектуальные задачи быстрее и лучше человека.

*Помощь* (H) – комплекс мероприятий для сокращения последствий от природных и других катастроф.

aiC – система поддержки принятия решений на уровне администрации региона.

aiR – специализированная система наблюдения, оценки и синтеза управляющих решений на уровне гидрообъектов.

### Постановка задачи

Пусть имеется административный регион, где проживает значительное количество населения (P) и находятся промышленные и сельскохозяйственные предприятия (I). На территории региона имеются потенциально опасные гидрообъекты R1, R2, ..., Rk. Под влиянием внешних факторов (Z) уровень воды в R может увеличиваться. Регионом управляет администрация (C1), аварийные ситуации устраняют подразделения МЧС (C2). Обе структуры связаны с Гидрометеорологической службой. В случае опасности население оповещается с помощью массмедиа, по кабельным телефонам и смартфонам, номера которых находятся в базах данных DBt и DBs.

Требуется разработать систему, фиксирующую параметры водных объектов, оценивающую ситуацию, формирующую соответствующее решение и оповещающее о нем ЛПП, население и предприятия.

Требования к системе уточняют общие требования организаций, разрабатывающих меры борьбы с паводками:

- минимизация человеческого фактора в принятии решений;

- мобильность, оперативная доставка и развертывание в любых природных ландшафтах за счет простоты и надежности оборудования и программного обеспечения;

- минимальная стоимость за счет применение отечественного оборудования и программного обеспечения;

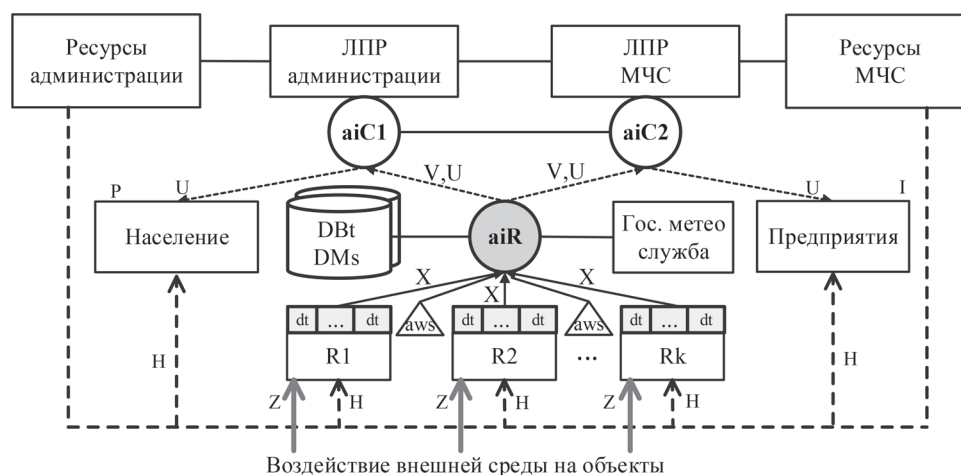


Рис. 1. Сцена мониторинга КМС

– высокий уровень автономности функционирования компонентов.

Решение поставленной задачи включает два этапа: построение теоретических моделей сущностей проблемы, алгоритмов их обработки и разработку системы мониторинга в форме аппаратно-программного комплекса.

### Модели и алгоритмы решения

**Модели.** Согласно [5], на первом этапе разработки систем управления КМС строится схематическая иерархическая модель сцены, где отображены участники решения задачи и отношения между ними. Предлагается распределенный вариант сцены, основная особенность которой заключается в делегировании основных наблюдательных и аналитических функций системе с искусственным интеллектом, что снижает характерную для людей субъективность и неоднозначность решений и позволит в будущем автоматизировать мониторинг (рис. 1).

На втором этапе строятся концептуальные (онтологические) модели сцены и каждого из участников, допускающие уточнение вплоть до программного кода [6].

Модель сцены:

$$scene = (C, aiC, R, aiR, I, N, ais, com) \quad (1)$$

где:  $C$  – центр;  $aiC$  – система уровня центра;  $R$  – гидрообъекты;  $aiR$  – система уровня объектов;  $N$  – население;  $I$  – предприятия;  $com$  – коммуникации.

Модель объекта:

$$R = (idR, X1, X2, \dots, Xn, V, U) \quad (2)$$

где:  $idR$  – идентификатор объекта;  $X$  – параметры объекта;  $V$  – состояние объекта;  $U$  – управляющее решение.

Модель датчика:

$$dt = (idD, sen, con, \langle X \rangle, crd, com) \quad (3)$$

где:  $idD$  – идентификатор датчика;  $sen$  – сенсор;  $con$  – контроллер;  $\langle X \rangle$  – измеряемые параметры;  $crd$  – географические координаты;  $com$  – коммуникации.

Модель интеллектуальной системы:

$$ai = (M, mOb, mD, mDM, mKD, mOb) \quad (4)$$

где:  $M$  – мастер;  $mD$  – блок работы с данными;  $mDM$  – модуль получения информации;  $mKD$  – модуль добычи знаний;  $mOb$  – модуль обучения системы.

Модель базы знаний:

$$kb = (idR, X, V, E, U, L) \quad (5)$$

где:  $X$  – значение параметров для объекта с идентификатором  $idR$ ;  $V$  – множество возможных состояний объекта;  $E$  – прецеденты (эталонные значения для каждого состояния);  $U$  – управляющие решения, направленные на минимизацию потерь;  $L$  – алгоритм поиска прецедента  $E_j$ , наиболее близкого к  $X$ . Мощности и значения множеств  $X, V, E, U$  задает эксперт.

Для практического применения моделей необходимо разработать алгоритмы оценки объекта, синтеза состояния и решения.

**Алгоритмы.** Алгоритмы реализуют две задачи: развертывание системы на местности и мониторинг гидрообъектов.

Организационно-технический алгоритм развертывания системы:

Шаг 01. Выбор объектов наблюдения.

Шаг 02. Формирование базы знаний  $X$ ,  $E$ ,  $V$ ,  $U$  на основе знаний экспертов, изучающих реки и знающих состав и возможности средств противодействия стихии.

Шаг 03. Установка системы aiR.

Шаг 04. Наведение и проверка работоспособности коммуникаций dt-aiR-aiC.

Шаг 05. Проверка работоспособности системы в тестовом режиме.

Шаг 06. Запуск системы в режиме постоянного мониторинга объектов.

После выполнения алгоритма система готова к эксплуатации.

Алгоритм мониторинга представляет собой многошаговый процесс переработки первичных данных в знания:

Шаг 01. Фиксация датчиками значений параметров объекта  $\langle X \rangle$ .

Шаг 02. Преобразование сигналов в удобную для математической обработки цифровую форму  $\langle X \rangle \rightarrow X$ .

Шаг 03. Анализ  $X$ , отображение в нечеткое множество  $X \rightarrow \beta$ .

Шаг 04. Принятие решений на основе значения  $\beta$ , например, с помощью набора продукций:

$if \beta \text{ in } \langle 0.00-0.25 \rangle \text{ then } V = V1, U = U1$   
 $if \beta \text{ in } \langle 0.26-0.50 \rangle \text{ then } V = V2, U = U2$   
 $if \beta \text{ in } \langle 0.51-0.75 \rangle \text{ then } V = V3, U = U3$   
 $if \beta \text{ in } \langle 0.76-1.00 \rangle \text{ then } V = V4, U = U4$

Шаг 05. Принятие решения об оповещении населения. Например, если значение  $\beta$  оказалось в третьем диапазоне, то активизируется управляющее решение  $U3$ . В данной версии используется проактивный принцип выбора [7].

Шаг 06. Переход на шаг 01.

Представленные выше модели и алгоритмы достаточны для построения прототипа системы мониторинга.

### Реализация и апробация системы

Архитектура системы мониторинга представлена на рис. 1 фигурами с выделенным фоном [8]. Консольный вариант реализации архитектуры выполнен на языке *C# MS Visual Studio* и легко переписывается на любой другой язык программирования, включая С и Ассемблер. Базы данных номеров телефонов



Рис.2. Датчик ETS

и смартфонов сторонних вендоров представлены в виде отдельных XML-файлов.

В качестве устройств фиксации первичных сигналов использовались датчики *ETS* компании «Горнэлектроникс», произведенные в Республике Беларусь [9].

Рассмотрим пример применения разработанной системы для мониторинга городов, примыкающим к горным ландшафтам. Один из таких городов – Сочи, которому постоянно угрожают разливы более пятидесяти рек, основные из них: Мзымта, Сочи, Чвижепсе, Шахе. Пусть система развернута на этих реках, установлены датчики *ETS1*, *ETS2*, *ETS3*, *RTS4*, которые постоянно измеряют уровень воды. После каждого замера формируется вектор исходных данных о реках и выполняется его анализ. Если ситуация штатная (т. е. нет значимого внешнего воздействия), вектор имеет вид:

0.00 0.00 0.00 0.00

Результат анализа представлен на рис. 3.

Позднее возникла проблемная ситуация: на горе Чура в результате таяния льда произошел прорыв озера, в результате датчик *ETS4* зафиксировал резкое повышение уровня воды в реке Шахе. Соответственно, aiR получил вектор текущего состояния рек:

0.00 0.00 0.00 0.76

Система должна идентифицировать возникшую ситуацию и выдать управляющее решение для администрации, МЧС, населения, промышленных и сельскохозяйственных предприятия. Результат обработки входного вектора в консольном режиме показан на рис. 4.

Таким образом, имея интеллектуальную систему наблюдения и недорогие датчики для каждой реки, можно повысить оперативность

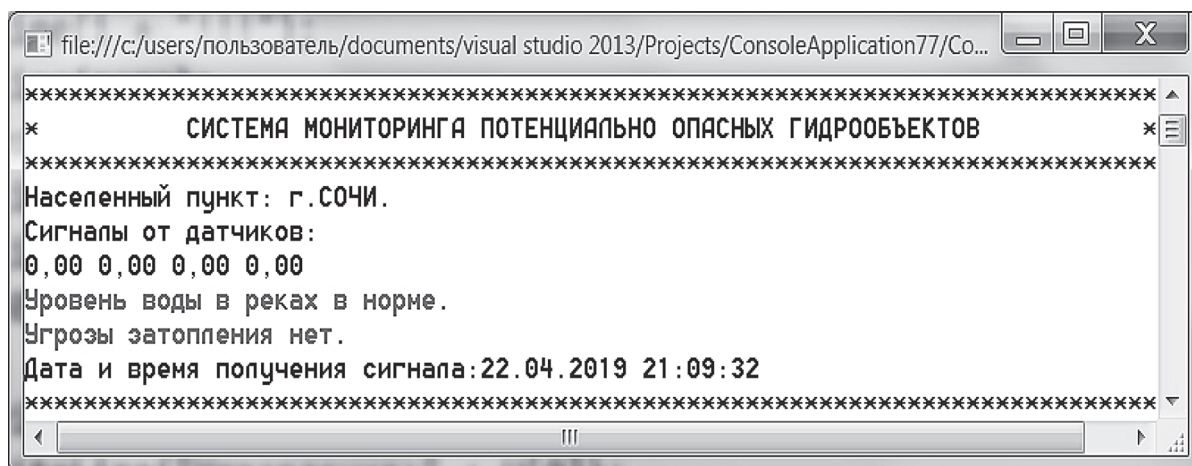


Рис. 3. Результат анализа штатной ситуации

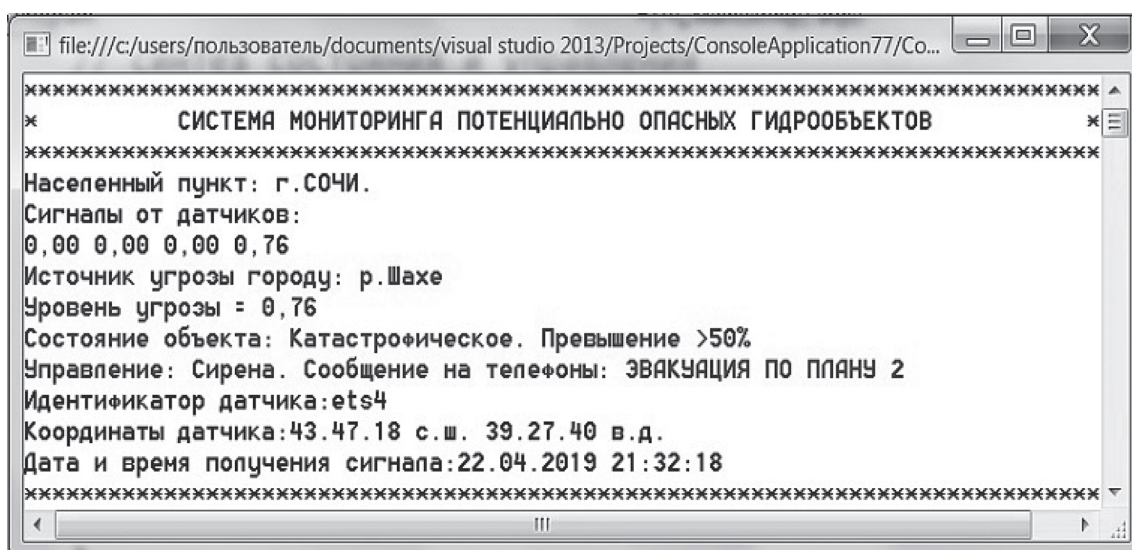


Рис. 4. Результат анализа нештатной ситуации

оповещения населения и уменьшить ущерб от стихийных бедствий.

### Заключение

Обобщая полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

- предложенный комплекс концептуальных моделей носит унифицированный характер и может быть использован для стационарных объектов различного типа;
- применение проактивного принципа в алгоритме мониторинга позволяет фиксировать возникновение аварийных ситуаций на началь-

ной стадии их развития и оперативно формировать управляющие решения;

- использование экспертных знаний уменьшает субъективизм решений ЛППР;
- построение программной системы из ин-тероперабельных модулей позволяет усовершенствовать программный код каждого из них без изменения кода других;
- невысокая стоимость отечественного оборудования и программной системы делают мониторинг доступным для регионов любого масштаба.

### ЛИТЕРАТУРА

1. The United Nations World Water Development Report 2019. Paris: UNESCO, 2019. 202 p.
2. Water Security, Sustainability and Resilience. WWC Strategy 2019–2021. – Marseille: World Water Council, 2018. – 24 p.

3. **Водная** стратегия Республики Беларусь на период до 2020 года и ее совершенствование в условиях изменяющегося климата [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.unesco.org/fileadmin/DAM/env/documents/2017/WAT/04Apr\\_26\\_6SC/AZ\\_6SC\\_Korneev\\_RU.pdf](https://www.unesco.org/fileadmin/DAM/env/documents/2017/WAT/04Apr_26_6SC/AZ_6SC_Korneev_RU.pdf).
4. **Управление** развитием крупномасштабных систем. Материалы конференции MLSD'2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8521469>.
5. **Bullock, R.** Hierarchical Interactive Theater Model (HITM): An Investigation Into the Relationship Between Strategic Effects and OODA Loops / R. Bullock– Biblioscholar, 2012. – 204 p.
6. **Arp, R.** Building Ontologies with Basic Formal Ontology / R. Arp, B. Smith, A. Spear. – Cambridge: The MIT Press, 2015. – 248 p.
7. **Kuzmich, A. I.** Remote monitoring system for mobile objects / A. I. Kuzmich, G. Shakah, A. N. Valvachev // PRIP'2011: Proceedings of The 10-th International Conference on Pattern Recognition, Minsk, May 18–20, 2011. – Minsk, 2011. – P. 272–275.
8. **Baranovski, O. V.** The Standardized Architecture of Intelligent Systems Based on the Brain Topology / O. V. Baranovski, A. N. Valvachev // PRIP'2019: Proceedings of The 14-th International Conference on Pattern Recognition, Minsk, May 21–23, 2019. – Minsk, 2019. – P. 324–327.
9. **Датчики** уровня воды ETS. – Режим доступа: <http://ets-by.ru/datchiki-urovnya-vody-ets>.

## REFERENCES

1. **The** United Nations World Water Development Report 2019. Paris: UNESCO, 2019. 202 p.
2. **Water** Security, Sustainability and Resilience. WWC Strategy 2019–2021. – Marseille: World Water Council, 2018. – 24 p.
3. **The** water strategy of the Republic of Belarus for the period up to 2020 and its improvement in a changing climate. – Access mode: [https://www.unesco.org/fileadmin/DAM/env/documents/2017/WAT/04Apr\\_26\\_6SC/AZ\\_6SC\\_Korneev\\_RU.pdf](https://www.unesco.org/fileadmin/DAM/env/documents/2017/WAT/04Apr_26_6SC/AZ_6SC_Korneev_RU.pdf).
4. **Management** of Large-scale System Development MLSD'2018. – Access mode: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8521469>.
5. **Bullock, R.** Hierarchical Interactive Theater Model (HITM): An Investigation Into the Relationship Between Strategic Effects and OODA Loops / R. Bullock– Biblioscholar, 2012. – 204 p.
6. **Arp, R.** Building Ontologies with Basic Formal Ontology / R. Arp, B. Smith, A. Spear. – Cambridge: The MIT Press, 2015. – 248 p.
7. **Kuzmich, A. I.** Remote monitoring system for mobile objects / A. I. Kuzmich, G. Shakah, A. N. Valvachev // PRIP'2011: Proceedings of The 10-th International Conference on Pattern Recognition, Minsk, May 18–20, 2011. – Minsk, 2011. – P. 272–275.
8. **Baranovski, O. V.** The Standardized Architecture of Intelligent Systems Based on the Brain Topology / O. V. Baranovski, A. N. Valvachev // PRIP'2019: Proceedings of The 14-th International Conference on Pattern Recognition, Minsk, May 21–23, 2019. – Minsk, 2019. – P. 324–327.
9. **ETS** water level sensors. – Access mode: <http://ets-by.ru/datchiki-urovnya-vody-ets>.

Поступила  
01.08.2019

После доработки  
25.11.2019

Принята к печати  
01.12.2019

*KUZMICH A. I., BARANOVSKI O. V., VALVACHEV A. N.*

## HYDROLOGY OBJECTS MONITORING SYSTEM

*Belarusian State University «Gornelectronics» Ltd*

*The article deals with the results of the development of monitoring system of potentially dangerous hydro-objects. The formal statement of the problem, models of the monitoring scene and its participants are presented. The scene is initially focused on the gradual replacement of participants-people on systems with artificial intelligence. The models are unified and can be refined to the level of program code. On the basis of models the proactive algorithm of monitoring providing fixing of dangerous situations at an initial stage of their emergence and operational synthesis of the corresponding managing decisions is constructed. The algorithm uses a knowledge base containing formalized expert knowledge about the features of the observed objects and resources of the regional administration to combat catastrophic phenomena.*

*To automate the solution, a hardware and software system using domestic intelligent sensors has been developed. Programs are written in the console version, require a minimum of computing resources. The peculiarity of the system is to minimize the time of decision-making and reducing their subjectivity by reducing the role of the human factor.*

*The complex is intended for use in areas where possible floods of water bodies with disastrous consequences.*

**Keywords:** *large-scale systems, hydro facilities, monitoring, intelligent systems.*



**Кузьмич Анатолий Иванович**, кандидат технических наук, директор по инновационным технологиям компании «Горнэлектроникс». Научные интересы: интеллектуальные датчики для измерения параметров различных сред и систем удаленного мониторинга для мобильных и стационарных объектов.

E-mail: kai57@mail.ru

**Kuzmich Anatoly Avanovich**, PhD, Director of Innovative Technologies of the company «Gornelectronics». Research interests: intelligent sensors for measuring parameters of various environments and remote monitoring systems for mobile and stationary objects.



**Барановский Олег Васильевич**, соискатель кафедры ИСУ ФПМИ Белорусского государственного университета. Научные интересы: математическое моделирование и разработка систем управления крупномасштабными организационно-техническими структурами на основе искусственного интеллекта и нейроморфных многоагентных систем.

E-mail: bovaisys@gmail.com

**Baranovski Oleg Vasilievich**, the applicant for the Information Management Systems Department BSU. Research interests: mathematical modeling and development of management systems for large-scale organizational and technical structures based on artificial intelligence and neuromorphic multi-agent structures.



**Вальвачев Александр Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем управления ИСУ ФПМИ Белорусского государственного университета. Научные интересы: интеллектуальные системы поддержки принятия решений для распределенных стационарных объектов.

E-mail: van\_955@mail.ru

**Valvachev Alexander Nikolaevich**, Ph. D., Assoc. Prof., Associate Professor of Information Management Systems Department BSU. Research interests: intelligent decision support systems for distributed stationary objects.