

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

## INFORMATION TECHNOLOGIES



УДК 519.711  
<https://doi.org/10.37661/1816-0301-2022-19-2-85-99>

Оригинальная статья  
Original Paper

## Информационная система для онтологического моделирования предметных областей

М. Н. Бухаров

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова  
Российской академии наук»,  
ул. Моховая, 11, Москва, 125009, Россия  
E-mail: oberonco@mail.ru*

### Аннотация

**Цели.** Рассмотрено создание онтологий предметных областей. Целью исследования явилась разработка математической модели онтологии и на ее основе – информационной системы для онтологического моделирования. Поставлена задача снижения трудоемкости онтологического моделирования.

**Методы.** В качестве методов исследования использовались теория систем гибридного интеллекта, теория множеств, элементы математической логики, методы разработки информационных систем, сравнительный анализ информационных систем, неформальный анализ практического использования информационной системы.

**Результаты.** Разработана математическая модель онтологии, использующая понятие метаобъекта. Онтологическое моделирование на основе этой модели включает спецификацию, концептуализацию и формализацию. На стадии спецификации построен глоссарий терминов. На стадии концептуализации определены объекты предметной области и их иерархия, затем выявлены связи между объектами. На стадии формализации определены метаобъекты и связи между ними, которые соответствуют объектам и связям между объектами. Это и есть онтология предметной области. На стадии актуализации определены параметры объектов предметной области и их значения, классы, подклассы и экземпляры классов. Параметры, значения параметров, классы, подклассы и экземпляры классов реализуются в онтологии в виде метаобъектов соответствующих типов. Разработана информационная система с уникальной архитектурой, а именно система гибридного интеллекта для автоматизации онтологического моделирования.

**Заключение.** Проведен сравнительный анализ разработанной информационной системы и применяемых сегодня систем для создания онтологий. Анализ показал, что разработанная автором информационная система по большинству параметров не уступает рассмотренным системам и является одновременно более простой при использовании и расширении. Предложенные математическая модель онтологии и информационная система для онтологического моделирования предметных областей апробированы при практическом создании онтологии по экологии. На основе проведенного сравнительного анализа и неформального анализа практического использования сделан вывод о том, что онтологическое моделирование с помощью разработанной информационной системы снижает трудоемкость и ускоряет сроки создания онтологий.

**Ключевые слова:** онтология, база знаний, онтологическое моделирование, система гибридного интеллекта, экология

Для цитирования. Бухаров, М. Н. Информационная система для онтологического моделирования предметных областей / М. Н. Бухаров // Информатика. – 2022. – Т. 19, № 2. – С. 85–99.  
<https://doi.org/10.37661/1816-0301-2022-19-2-85-99>

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию | Received 28.02.2022

Подписана в печать | Accepted 04.04.2022

Опубликована | Published 29.06.2022

---

## Information system for ontological modelling the subject areas

**Mikhail N. Bukharov**

*Federal State Budgetary Institution of Science  
"Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics  
of Russian Academy of Sciences",  
st. Mokhovaya, 11, Moscow, 125009, Russia  
E-mail: oberonco@mail.ru*

### Abstract

**Objectives.** The creation of ontologies of subject areas is considered. The goal is to develop a mathematical model of ontology and the information system for ontological modeling. The task is to reduce the complexity of ontological modeling.

**Methods.** As research methods, the theory of hybrid intelligence systems, the theory of sets, elements of mathematical logic, methods for developing the information systems, comparative analysis of information systems, informal analysis of information system were used.

**Results.** Mathematical model of ontology using the concept of metaobject is developed. Ontological modelling based on this model involves specification, conceptualization and formalization. A glossary of terms is being built at the specification stage. At the conceptualization stage, objects in the subject area and their hierarchy are defined, and then connections between objects are identified. In the formalization stage, the metaobjects and the relationships between metaobjects that correspond to objects and the relationships between objects were defined. This is considered as the ontology of the subject area. During the actualization stage, the parameters of subject area objects and their values, classes, subclasses, and instances of classes were defined. Parameters, parameter values, classes, subclasses, and instances of classes are implemented in ontology as metaobjects of relative types. An information system with a unique architecture has been developed, namely a hybrid intelligence system for the automation of ontological modelling.

**Conclusion.** The article conducts a comparative analysis of the developed information system with the systems used today for creation of ontologies. The analysis showed that the information system developed by paper author in most parameters is not inferior to considered systems and at the same time easier to use and expand. The mathematical model of ontology and the information system for ontological modeling of subject areas, developed by author, are tested in practical creation of ontology on ecology. On the basis of the conducted comparative analysis and informal analysis of practical use, it is concluded that ontological modeling with the help of the information system developed by author reduces the labor intensity and decreases the time of ontologies creation.

**Keywords:** ontology, knowledge base, ontological modeling, hybrid intelligence system, ecology

**For citation.** Bukharov M. N. *Information system for ontological modelling the subject areas*. Informatika [Informatics], 2022, vol. 19, no. 2, pp. 85–99 (In Russ.). <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2022-19-2-85-99>

**Conflict of interest.** The author declare of no conflict of interest.

**Введение.** В настоящее время онтологическое моделирование предметных областей активно развивается и «вширь» [1–4], и «вглубь» [5–7], между тем трудоемкость онтологического моделирования остается высокой. В работе ставилась задача снизить трудоемкость онтологического моделирования предметных областей за счет применения систем гибридного интеллекта.

В статье приведены основные положения разработанной ранее теории систем гибридного интеллекта (книги [8, 9], статьи [10–12]) и предложена разработанная автором математическая модель онтологии и базы знаний. Деятельность по онтологическому моделированию предметной области представлена как система гибридного интеллекта. Описаны основные функциональные подсистемы разработанной системы гибридного интеллекта «Онтологическое моделирование предметной области», выполняющие сбор, регистрацию, хранение и использование информации, которая необходима для создания и применения онтологии. Онтологическое моделирование предметной области включает спецификацию, концептуализацию и формализацию. Результатом онтологического моделирования является онтология предметной области. Для превращения онтологии в базу знаний необходимо осуществить ее актуализацию. После проведения работ на стадии актуализации онтология становится базой знаний, однако «жесткой» границы между онтологией и базой знаний нет.

Рассмотрено онтологическое моделирование экологии с использованием разработанной автором системы гибридного интеллекта.

**1. Основные положения теории систем гибридного интеллекта.** Система гибридного интеллекта (СГИ) – это информационная система с уникальной архитектурой, которая создается для управления некоторой сложной деятельностью. Для описания архитектуры СГИ воспользуемся понятием «функционально-структурная схема информационной системы»<sup>1</sup>, введенным автором в 1987 г. Функционально-структурная схема информационной системы – это перечень подсистем и модулей, из которых состоит система, с описанием выполняемых ими функций и взаимодействия между ними в основных режимах работы системы. Автор использует данное понятие для определения архитектуры системы гибридного интеллекта на основе процессов<sup>2</sup>.

СГИ на основе процессов создается как иерархическая многоуровневая система. В качестве основы на первом уровне используются библиотеки готовых программ, реализующие исполнительную среду для работы системы. На втором уровне СГИ представляется состояниями процессов, аккумулирующими логику работы системы, на третьем – совокупностью взаимодействующих процессов, а на четвертом – функциональными подсистемами, реализующими стратегию и тактику управления деятельностью. Основным режим работы СГИ – управление деятельностью. В этом режиме сотрудники и их автоматизированные рабочие места (АРМ) передают информацию о состоянии деятельности в процессы; процессы в зависимости от поступившей информации выдают те или иные команды в АРМ, которые при необходимости транслируют эти команды сотрудникам; сотрудники выполняют команды и передают ответы через АРМ в процессы; процессы в зависимости от ответов, поступивших от АРМ, выдают в АРМ новые команды и т. д.

Структура системы гибридного интеллекта  $S$  имеет четыре уровня:

$$S = \langle S_1, S_2, S_3, S_4 \rangle, \quad (1)$$

где  $S_1$  – библиотеки готовых программ, реализующие исполнительную среду для работы системы;  $S_2$  – состояния процессов, аккумулирующие логику работы системы;  $S_3$  – совокупность взаимодействующих процессов;  $S_4$  – функциональные подсистемы, реализующие стратегию и тактику управления деятельностью.

Обозначим библиотеки готовых программ, реализующие исполнительную среду для работы системы гибридного интеллекта, как  $S_1 = \{d_{i_d}\}$ , где  $d_{i_d}$  –  $i_d$ -я библиотека готовых программ; состояния процессов, аккумулирующие логику работы системы гибридного интеллекта, как  $S_2 = \{\tau_{i_s, j_p}\}$ , где  $\tau_{i_s, j_p}$  – состояние с номером  $i_s$  процесса с номером  $j_p$ ; совокупность взаимо-

<sup>1</sup>Бухаров, М. Н. Технология программирования для систем автоматизации экспедиционных радиофизических экспериментов : дис. ... канд. техн. наук / М. Н. Бухаров. – М., 1987. – 237 с.

<sup>2</sup>Бухаров, М. Н. Управление человеко-машинными комплексами на основе гибридного интеллекта : дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.10 / М. Н. Бухаров. – М., 2012. – 356 с.

действующих процессов как  $S_3 = \{p_{n,m}\}$ , где  $p_{n,m}$  – процесс с номером  $m$  функциональной подсистемы с номером  $n$ ; функциональные подсистемы как  $S_4 = \{s_{i_s}\}$ , где  $s_{i_s}$  –  $i_s$ -я функциональная подсистема.

В компьютере состояния процессов – это подпрограммы, а процессы – программы, которые при выполнении на компьютере вызывают данные подпрограммы. Состояния процесса выполняются последовательно. В каждый момент времени в процессе выполняется только одно состояние, которое называется текущим состоянием процесса. Все текущие состояния всех процессов выполняются одновременно. Таким образом, работа СГИ на компьютере (в локальной вычислительной сети, в глобальной сети Интернет) – это параллельное выполнение последовательных процессов.

Для наглядности представим процесс графически в виде ориентированного графа. Вершинами графа являются состояния процесса, а дугами – переходы между состояниями. Если из какого-либо состояния процесса возможны переходы в два или более состояния, то они обозначаются пунктирной линией (рис. 1).

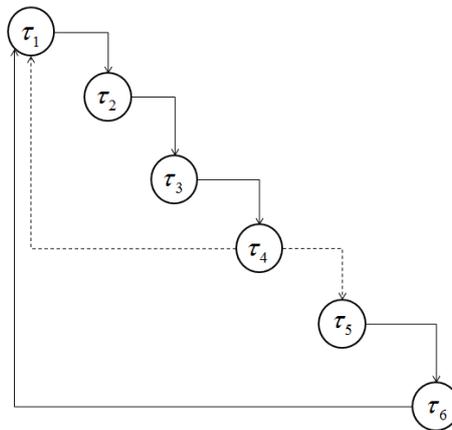


Рис. 1. Графическое представление процесса:

$\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5, \tau_6$  – состояния процесса

Fig. 1. Process Graphic:  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5, \tau_6$  – process states

Функциональная подсистема в общем случае имеет сложную иерархическую структуру. На  $k$ -м уровне  $i$ -я функциональная подсистема  $s_i^k$  включает подсистему управления, состоящую из нескольких процессов  $\{p_{i,j_p}^k\}$ ; несколько функциональных подсистем  $\{s_{i,j_s}^k\}$ ; несколько функциональных модулей  $\{f_{i,j_f}^k\}$  и множество сообщений  $\{m_{i,j_m}^k\}$ :

$$s_i^k = \langle \{p_{i,j_p}^k\}, \{s_{i,j_s}^k\}, \{f_{i,j_f}^k\}, \{m_{i,j_m}^k\} \rangle, \quad (2)$$

где  $p_{i,j_p}^k$  –  $j_p$ -й процесс;  $s_{i,j_s}^k$  –  $j_s$ -я функциональная подсистема;  $f_{i,j_f}^k$  –  $j_f$ -й функциональный модуль;  $m_{i,j_m}^k$  –  $j_m$ -е сообщение (индексы  $i$  и  $k$  указывают на  $i$ -ю подсистему рассматриваемого  $k$ -го уровня).

Функциональный модуль может быть АРМ участника деятельности. В этом случае сам участник деятельности (сотрудник, контрагент) также является частью функциональной подсистемы (одним из ее функциональных модулей).

Подсистема управления реализует протокол взаимодействия функциональных подсистем одного уровня с помощью множества процессов. Процессы обмениваются сообщениями

с функциональными подсистемами через внутренний интерфейс. В то же время подсистема управления получает задания от внешней функциональной подсистемы и отправляет ей ответы через внешний интерфейс. Регламенты этого «вертикального» взаимодействия функциональных подсистем реализуются процессами подсистем управления смежных по вертикали уровней (верхний индекс  $k$ ).

Таким образом, более детально на уровне  $k$  каждая  $i$ -я функциональная подсистема  $s_i^k$  представляется как кортеж из подсистемы управления (множество процессов  $\{p_{i,j_p}^k\}$ ), нескольких функциональных подсистем следующего нижнего уровня  $\{s_{i,j_s}^k\}$ , внутреннего  $\{m_{i,j_m}^k\}$  и внешнего  $\{m_{i,j_m}^k\}$  интерфейсов и множества функциональных модулей  $\{f_{i,j_f}^k\}$ :

$$s_i^k = \langle \{p_{i,j_p}^k\}, \{s_{i,j_s}^k\}, \{m_{i,j_m}^k\}, \{m_{i,j_m}^k\}, \{f_{i,j_f}^k\} \rangle. \quad (3)$$

Внутренний интерфейс  $\{m_{i,j_m}^k\}$  подсистемы  $s_i^k$  в то же время является внешним интерфейсом для функциональных подсистем следующего нижнего уровня  $\{s_{i,j_s}^k\}$  и т. д.

Для облегчения создания систем гибридного интеллекта ранее автором был разработан специальный инструментальный комплекс, состоящий из нескольких компонентов [8, 9, 12].

**2. Математическая модель онтологии.** Онтология – это формальная спецификация концептуализации в некотором контексте предметной области [13]. Создаваемые нами онтологии и базы знаний являются множеством метаобъектов и связей между ними. Метаобъект – это некоторый текст, представляющий собой определение, понятие или какое-либо другое описание. Обозначим множество метаобъектов как  $B = \{b_i\}$ . Метаобъект может быть связан с одним или несколькими объектами из множества объектов  $A$ . Связь метаобъекта и объекта имеет тип. Обозначим множество всех типов связей метаобъекта и объекта как  $T^{(b,a)} = \{t_i^{(b,a)}\}$ . Конкретную связь метаобъекта с объектом будем называть связкой и обозначать как кортеж вида  $\langle b_i, t_j^{(b,a)}, a_k \rangle$ . Метаобъект имеет тип, множество типов метаобъектов обозначим  $T^{(b)} = \{t_i^{(b)}\}$ .

Между метаобъектами также могут быть установлены связи. Связь между двумя метаобъектами имеет тип. Обозначим множество типов всех связей между метаобъектами как  $T^{(b,b)} = \{t_i^{(b,b)}\}$ . Конкретную связь между двумя метаобъектами будем называть связкой и обозначать кортежем вида

$$\langle b_i, t_j^{(b,b)}, b_k \rangle. \quad (4)$$

Метаобъект может иметь одно или несколько ключевых слов. Ключевое слово – это одно слово или словосочетание в виде строки текста. Обозначим множество всех ключевых слов онтологии как  $W = \{w_i\}$ . Ключевые слова одного метаобъекта являются подмножеством всех ключевых слов онтологии. Множество из  $n$  ключевых слов метаобъекта  $b_i$  обозначим  $W^{(b_i)} = \{w_{i_1}, w_{i_2}, w_{i_3}, \dots, w_{i_{n-1}}, w_{i_n}\}$ ,  $W^{(b_i)} \subseteq W$ . Ключевое слово может входить в метаобъект по одному из типов вхождения из множества типов вхождения:  $V = \{v_i\}$ . Множество  $V$  состоит из трех элементов:  $v_1$  : ИЛИ (может быть),  $v_2$  : И (обязательно есть),  $v_3$  : НЕ (отсутствует).

Вхождение ключевого слова  $w_i$  в метаобъект  $b_k$  по типу вхождения  $v_j$  обозначим как кортеж

$$\langle w_i, v_j, b_k \rangle. \quad (5)$$

Поисковый запрос представляет собой множество кортежей, как в формуле (5), где на месте метаобъекта стоит символ «  » (подчеркивание), показывающий, что на этом месте может быть любой метаобъект, удовлетворяющий условию вхождения в него ключевого слова  $w_i$  по типу вхождения  $v_j$ :

$$Z = \{ \langle w_{i_1}, v_{j_1}, - \rangle, \langle w_{i_2}, v_{j_2}, - \rangle, \langle w_{i_3}, v_{j_3}, - \rangle, \dots, \langle w_{i_n}, v_{j_n}, - \rangle \}. \quad (6)$$

Результат поиска – это множество метаобъектов, удовлетворяющих поисковому запросу из формулы (6). Обозначим результат поиска как множество  $X = Z(B)$ . Результат поиска  $X$  является не собственным подмножеством множества всех метаобъектов  $B$ :  $X \subseteq B$ . Поисковый запрос из формулы (6) может осуществляться последовательно или параллельно-последовательно.

При параллельно-последовательном выполнении поискового запроса выделяются следующие последовательно выполняемые группы параллельно выполняемых задач (поисковых подзапросов): поиск метаобъектов (множество  $X_1$ ), удовлетворяющих условию вхождения ключевых слов по типу вхождения  $v_1$ ; поиск метаобъектов из множества  $X_1$  (множество  $X_2$ ), удовлетворяющих условию вхождения ключевых слов по типу вхождения  $v_2$ , и поиск метаобъектов из множества  $X_2$  (множество  $X$ ), удовлетворяющих условию вхождения ключевых слов по типу вхождения  $v_3$ . Параллельно выполняемые задачи в этих группах бывают двух типов: задачи, выделяемые в отдельный поисковый подзапрос по принципу одновременного поиска одного или нескольких ключевых слов, и задачи, выделяемые в отдельный поисковый запрос по принципу поисковой базы (подмножество  $B_i \subset B$  или все множество  $B$ ).

Для облегчения онтологического моделирования предметной области, в частности для автоматического установления отдельных связей между метаобъектами, используем набор аксиом (законов и правил, которые описывают принципы существования отобранных концептов). Аксиома – это два утверждения о метаобъектах, связанные знаком следования (вывода). Утверждение о метаобъектах представляет собой предикат  $P = f(b_1, b_2, \dots, b_n)$ . В частности, предикат  $P$  может быть связкой, как в формуле (4), но на месте одного или обоих метаобъектов стоит символ «  » (подчеркивание), показывающий, что на этом месте может быть любой метаобъект.

В разработанной автором информационной системе для онтологического моделирования предметных областей имеются три вида аксиом:

$$\langle b_i, t_j^{(b,b)}, - \rangle \Rightarrow \langle b_i, t_k^{(b,b)}, - \rangle, \quad (7)$$

$$\langle -, t_i^{(b,b)}, b_j \rangle \Rightarrow \langle -, t_k^{(b,b)}, b_j \rangle, \quad (8)$$

$$\langle -, t_i^{(b,b)}, - \rangle \Rightarrow \langle -, t_j^{(b,b)}, - \rangle. \quad (9)$$

Аксиома (7) означает, что если между метаобъектом  $b_i$  и некоторым метаобъектом имеется связь типа  $t_j^{(b,b)}$ , то между этими двумя метаобъектами также должна быть связь типа  $t_k^{(b,b)}$ . Аксиома (8) означает, что если между некоторым метаобъектом и метаобъектом  $b_j$  имеется связь типа  $t_i^{(b,b)}$ , то между этими двумя метаобъектами также должна быть связь типа  $t_k^{(b,b)}$ . Аксиома (9) означает, что если между двумя метаобъектами имеется связь типа  $t_i^{(b,b)}$ , то между этими двумя метаобъектами также должна быть связь типа  $t_j^{(b,b)}$ .

В информационной системе аксиомы задаются вручную в соответствующих диалогах. Затем можно запустить применение аксиом в автоматическом или полуавтоматическом режимах.

В автоматическом режиме осуществляется сканирование всех метаобъектов и проверка для каждого метаобъекта выполнения утверждения в левой части аксиомы. Если утверждение истинно, то проверяется наличие связи из утверждения, находящегося в правой части аксиомы.

Если связь имеется, то процесс применения аксиом продолжает проверку далее. Если же указанная в правой части аксиомы связь между метаобъектами не обнаружена, то такая связь устанавливается. И так делается для всех метаобъектов онтологии. Затем процесс применения аксиом продолжает проверку для следующей аксиомы. Она выполняется системой последовательно: сначала для одной аксиомы, затем для другой, пока не закончатся все аксиомы. Процесс применения одной аксиомы заканчивается тогда, когда будут проверены утверждения из левой части аксиомы для всех метаобъектов онтологии.

Необходимо отметить, что если в результате использования аксиомы множество всех связей метаобъектов онтологии было изменено, то в общем случае необходимо еще раз применить все аксиомы. Поэтому поочередное применение аксиом выполняется до тех пор, пока за очередной цикл применения не будет достигнуто отсутствие изменения множества всех связей метаобъектов онтологии. В случае добавления в онтологию нового метаобъекта и установления связи этого метаобъекта с одним из уже существующих в онтологии метаобъектов (создания новой связи из двух метаобъектов) при включенном режиме автоматического применения аксиом для этой новой связи метаобъектов поочередно применяются все аксиомы.

В полуавтоматическом режиме выполняется запрос пользователю на выполнение очередного цикла использования всех аксиом и каждой аксиомы в отдельности. Также в полуавтоматическом режиме информационная система перед каждым созданием новой связи между метаобъектами делает запрос пользователю и создает связь между метаобъектами только при положительном ответе.

**3. Автоматизация онтологического моделирования предметной области с помощью гибридного интеллекта.** Онтологическое моделирование предметной области включает спецификацию, концептуализацию и формализацию. Результатом онтологического моделирования является онтология предметной области. Для превращения онтологии в базу знаний необходимо провести ее актуализацию.

На стадии спецификации строится глоссарий терминов, включающий все важные для предметной области термины и их описания. На стадии концептуализации выявляются важные объекты предметной области. На этой стадии также определяются иерархия и связи между объектами предметной области. На стадии формализации создаются метаобъекты и связи между метаобъектами, которые соответствуют объектам и связям между объектами предметной области. В результате будет получена онтология предметной области.

На стадии актуализации определяются параметры объектов и их домены (домен параметра – это область допустимых значений параметра), а также значения, классы, подклассы и экземпляры классов. Параметры, домены параметров, значения параметров, классы, подклассы и экземпляры классов реализуются в виде метаобъектов соответствующих типов. После проведения работ на стадии актуализации онтология превращается в базу знаний. Однако «жесткой» границы между онтологией и базой знаний нет.

Для автоматизации онтологического моделирования предметных областей была разработана СГИ (см. формулы (1)–(3)), получившая название «Онтологическое моделирование предметной области» (СГИ ОМПО). В состав СГИ ОМПО вошли три функциональные подсистемы (см. формулу (2)): «Администрирование», «Экспертиза» и «Работа с пользователями».

В соответствии с формулой (3) каждая функциональная подсистема содержит процессы для взаимодействия с внешней средой и процессы для управления компонентами подсистемы. Взаимодействие с внешней средой осуществляется с помощью внешнего интерфейса, а управление внутренними компонентами подсистемы – с помощью внутреннего интерфейса. В соответствии с формулой (1) процессы содержат состояния. В статье для краткости изложения деление процессов на состояния опущено.

1. Функциональная подсистема «Администрирование» содержит следующие процессы:

- Получение информации из внешней среды;
- Передача информации во внешнюю среду;
- Подключение нового пользователя;
- Подключение нового эксперта;
- Аутентификация пользователя;

Аутентификация эксперта;

Размещение новой версии онтологии на Сервере;

Создание резервной копии онтологии;

Восстановление онтологии по резервной копии при сбоях в работе Сервера.

Функциональная подсистема «Администрирование» включает следующие внутренние компоненты:

Администратор;

Программист;

АРМ Администратора;

АРМ Программиста;

Функциональный модуль «Сервер» для размещения онтологии и Рабочих кабинетов пользователей онтологии;

Функциональные модули, используемые Программистом при настройке Рабочих кабинетов пользователей онтологии.

2. Функциональная подсистема «Экспертиза» содержит следующие процессы:

Получение информации из внешней среды;

Передача информации во внешнюю среду;

Проверка новой информации экспертами;

Редактирование Технологом онтологии на основе поступившей и проверенной экспертами новой информации;

Анализ и обобщение замечаний, полученных от Секретаря;

Подготовка Технологом новой версии онтологии.

Функциональная подсистема «Экспертиза» включает следующие внутренние компоненты:

Технолог;

Эксперт;

АРМ Технолога;

АРМ Эксперта;

Функциональный модуль «Журнал экспертиз» для размещения заключений экспертов по поступающей новой информации для размещения в онтологии;

Функциональные модули, используемые Технологом при редактировании онтологии и при проверке новых версий онтологии.

3. Функциональная подсистема «Работа с пользователями» содержит следующие процессы:

Получение информации из внешней среды;

Передача информации во внешнюю среду;

Регистрация запросов пользователей Секретарем;

Подготовка Секретарем рейтингов по использованию отдельных фрагментов онтологии и передача этих рейтингов пользователям;

Регистрация Секретарем замечаний пользователей;

Передача Секретарем поступивших от пользователей замечаний Технологу.

Функциональной подсистемы «Работа с пользователями» включает следующие внутренние компоненты:

Пользователь;

Секретарь;

АРМ Пользователя;

АРМ Секретаря;

Функциональный модуль «Журнал запросов пользователей» для размещения запросов пользователей и результатов их выполнения;

Функциональные модули, используемые Секретарем при выполнении запросов пользователей онтологии;

Функциональный модуль «Журнал замечаний пользователей» для размещения замечаний пользователей.

Для всех трех функциональных подсистем применяется единый внешний интерфейс. Внутренний интерфейс для каждой функциональной подсистемы используется свой. Внешний ин-

терфейс и все внутренние интерфейсы реализованы как распределенные базы данных и функциональные модули для размещения в базах данных информации и чтения из баз данных поступившей информации. Внешним интерфейсом пользуются только два процесса в каждой функциональной подсистеме: Получение информации из внешней среды и Передача информации во внешнюю среду. Внутренним интерфейсом в каждой функциональной подсистеме пользуются все процессы и функциональные модули этой функциональной подсистемы (в том числе и АРМ).

АРМ Администратора, Программиста, Эксперта, Технолога и Секретаря реализованы как Рабочие кабинеты на интернет-портале ROS (URL: <http://www.ros.iicenter.ru>). Скриншот рабочего места Администратора Базы знаний по экологии на интернет-портале ROS показан на рис. 2.

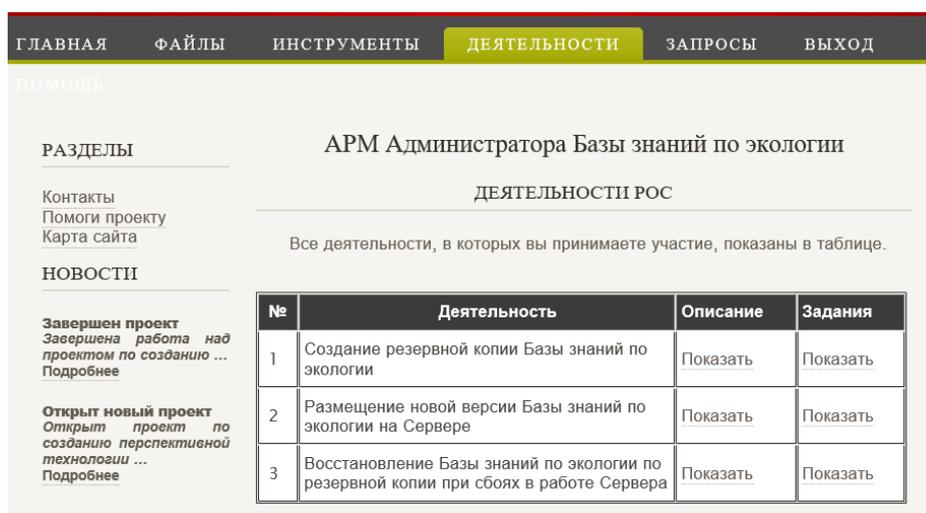


Рис. 2. Рабочее место Администратора Базы знаний по экологии на интернет-портале ROS

Fig. 2. Environmental Knowledge Base Administrator Workplace on the ROS Portal

Автоматизированные рабочие места пользователей реализованы как Рабочие кабинеты на интернет-портале WKL (URL: <http://www.wkl.iicenter.ru>). Скриншот рабочего места Пользователя Базы знаний по экологии на интернет-портале WKL изображен на рис. 3.

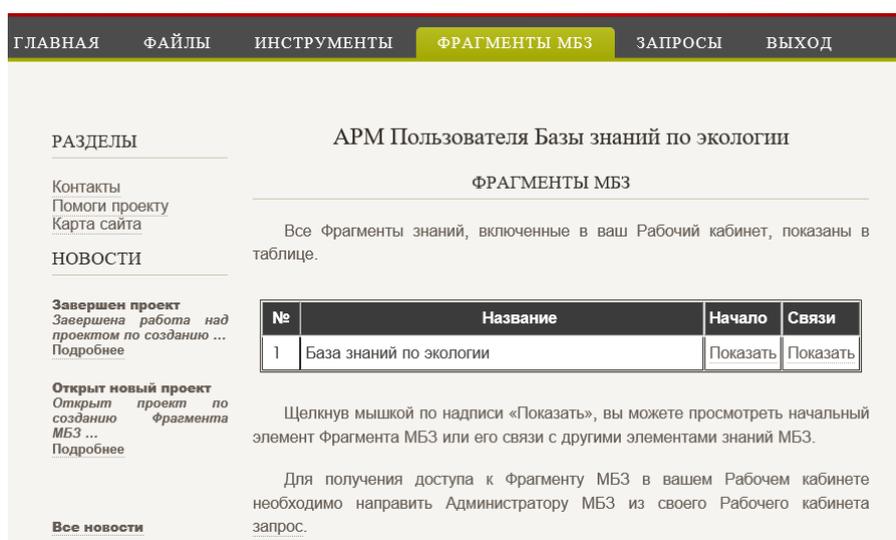


Рис. 3. Рабочее место Пользователя Базы знаний по экологии на интернет-портале WKL

Fig. 3. Environmental Knowledge Base User Workplace on WKL Internet Portal

**4. Онтологическое моделирование экологии.** Рассмотрим создание с помощью разработанной информационной системы СГИ ОМПО онтологическое моделирование предметной области «экология». Содержательно экология состоит из экологических объектов, понятий, теорем, гипотез, теорий, экспериментов, изобретений, открытий и других объектов, относящихся к данной предметной области. В предметной области «экология» выделены следующие разделы:

1. Основные понятия и определения.
2. Научные проблемы и задачи.
3. Научные гипотезы.
4. Научные теории.
5. Научные методы и методики исследований.
6. Математические модели.
7. Компьютерные модели.

Деятельность по сбору информации для онтологии и базы знаний по экологии, проверке и экспертизе этой информации, ее хранению и использованию автор рассматривает как систему гибридного интеллекта (книги [8, 9], статьи [10–12]). Реализация системы выполнена на основе платформы ROS и интернет-портала WKL.

Пользователями онтологии и базы знаний по экологии являются специалисты, работающие в области экологии и смежных областях, преподаватели и студенты, которым интересно все, что связано с этой наукой. Пользователи получают доступ к онтологии и базе знаний по экологии в своих Рабочих кабинетах на интернет-портале WKL.

Для иллюстрации работы СГИ ОМПО рассмотрим добавление в онтологию по экологии информации об экологических факторах.

Пусть функциональная подсистема «Работа с пользователями» СГИ ОМПО получила от одного из пользователей информацию об экологических факторах в виде следующего текста:

*Экологические факторы среды оказывают на живые организмы различные воздействия, то есть могут влиять как раздражители, вызывающие приспособительные изменения физиологических и биохимических функций; как ограничители, обуславливающие невозможность существования в данных условиях; как модификаторы, вызывающие морфологические и анатомические изменения организмов; как сигналы, свидетельствующие об изменениях других факторов среды.*

*Один и тот же фактор среды может быть ресурсом для одних и условием для других видов. Например, свет – жизненно необходимый энергетический ресурс для растений, а для обладающих зрением животных – условие зрительной ориентации. Вода для многих организмов может быть и условием жизни, и ресурсом.*

Секретарь в своем Рабочем кабинете с помощью функционального модуля «Журнал запросов пользователей» помещает данный запрос в журнал. Затем процесс «Передача информации во внешнюю среду» (функциональная подсистема «Работа с пользователями») передает его во внешний интерфейс. Процесс «Получение информации из внешней среды» (функциональная подсистема «Экспертиза») получает запрос из внешнего интерфейса и передает в АРМ Технолога. Технолог рассматривает полученную информацию, добавляет необходимую для экспертов дополнительную информацию и передает сформированную им информацию на экспертизу одновременно нескольким экспертам. При этом будут задействованы следующие процессы функциональной подсистемы «Экспертиза»:

Проверка новой информации экспертами;

Редактирование Технологом онтологии на основе поступившей и проверенной экспертами новой информации;

Подготовка Технологом новой версии онтологии.

В результате Технолог сформирует новую версию онтологии по экологии и передаст ее Администратору для размещения на Сервере. После размещения новой версии онтологии на Сервере Администратор оповестит Секретаря о выпуске новой версии онтологии. Секретарь в свою очередь известит об этом всех зарегистрированных пользователей.

Для краткости изложения задействованные здесь функциональные подсистемы, процессы, АРМ и функциональные модули не указаны.

В результате в новую версию онтологии по экологии будут добавлены следующие термины и законы:

- экологические факторы;
- абиотические экологические факторы;
- биотические экологические факторы;
- антропогенные экологические факторы;
- изменчивость во времени экологических факторов;
- закон оптимума;
- адаптация биологических организмов;
- регулярно-периодическая изменчивость во времени экологических факторов;
- нерегулярная изменчивость во времени экологических факторов;
- изменчивость экологических факторов на протяжении известных отрезков времени;
- способность переносить изменения экологических факторов;
- аккламация к экологическому фактору;
- узкая специализация в переносимости изменений экологических факторов;
- широкая выносливость в переносимости изменений экологических факторов.

Между добавленными элементами онтологии и уже имеющимися будут установлены связи следующих типов:

- включает;
- содержится в;
- является разновидностью;
- имеет разновидность;
- является характеристикой;
- имеет характеристику;
- имеет механизм;
- является механизмом;
- подчиняется закону;
- является законом для.

Установка связей между метаобъектами осуществляется вручную и автоматически с помощью аксиом (см. формулы (7)–(9)).

Фрагмент среза онтологии по экологии по типам связей «включает», «подчиняется закону», «имеет характеристику», «имеет разновидность» выглядит следующим образом:

Среда обитания – *включает* – Естественная среда обитания

Среда обитания – *включает* – Искусственная (созданная человеком) среда обитания

Естественная среда обитания – *включает* – Естественная водная среда обитания

Естественная среда обитания – *включает* – Естественная наземно-воздушная среда обитания

Естественная среда обитания – *включает* – Естественная почвенная среда обитания

Естественная среда обитания – *включает* – Непосредственно живые организмы как естественная среда обитания

Естественная среда обитания – *включает* – Абиотическая естественная среда обитания

Естественная среда обитания – *включает* – Биотическая естественная среда обитания

Абиотическая естественная среда обитания – *включает* – Естественная водная среда обитания

Абиотическая естественная среда обитания – *включает* – Естественная наземно-воздушная среда обитания

Абиотическая естественная среда обитания – *включает* – Естественная почвенная среда обитания

Биотическая естественная среда обитания – *включает* – Непосредственно живые организмы как естественная среда обитания

Экологические факторы – *включает* – Абиотические экологические факторы

Экологические факторы – *включает* – Биотические экологические факторы

Экологические факторы – *включает* – Антропогенные экологические факторы

Экологические факторы – *включает* – Ресурсы окружающей среды

Экологические факторы – *включает* – Условия окружающей среды

Экологические факторы – *подчиняется закону* – Закон оптимума

Экологические факторы – *имеет характеристику* – Изменчивость во времени экологических факторов

Экологические факторы – *имеет характеристику* – Способность переносить изменения экологических факторов

Изменчивость во времени экологических факторов – *имеет разновидность* – Регулярно-периодическая изменчивость во времени экологических факторов

Изменчивость во времени экологических факторов – *имеет разновидность* – Нерегулярная изменчивость во времени экологических факторов

Изменчивость во времени экологических факторов – *имеет разновидность* – Изменчивость экологических факторов на протяжении известных отрезков времени

Способность переносить изменения экологических факторов – *имеет разновидность* – Узкая специализация в переносимости изменений экологических факторов

Способность переносить изменения экологических факторов – *имеет разновидность* – Широкая выносливость в переносимости изменений экологических факторов.

В данном фрагменте курсивом выделены типы связей между элементами онтологии.

В СГИ ОМПО для наглядности фрагменты онтологии можно представить в графической форме (рис. 4).

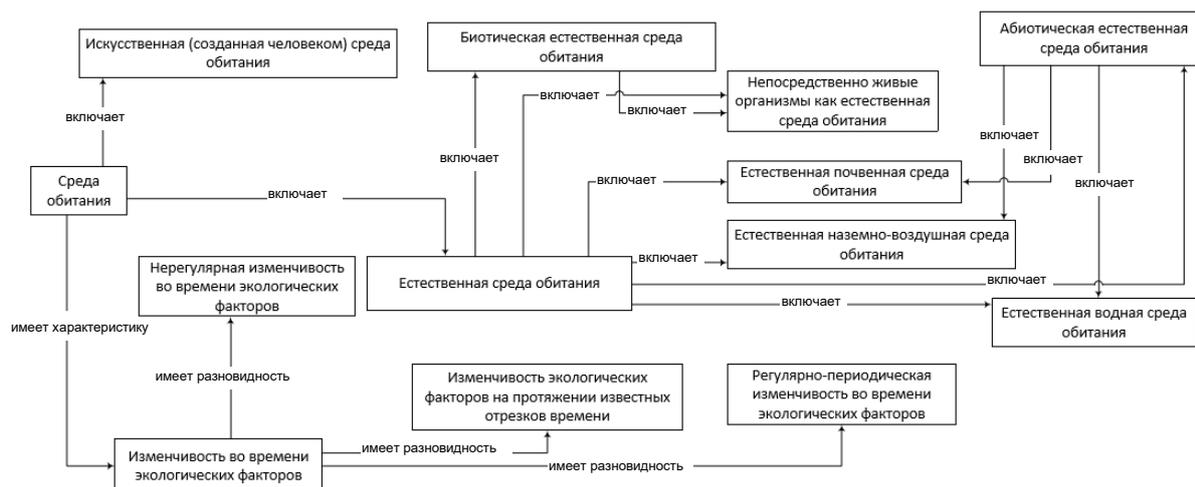


Рис. 4. Фрагмент среза онтологии по экологии по типам связей «включает», «имеет характеристику», «имеет разновидность» в графической форме

Fig. 4. A slice of ontology on ecology by types of links "includes", "has characteristic", "has variety" in graphic form

Пользователи онтологии и базы знаний по экологии – это специалисты в области экологии и смежных областях, преподаватели и студенты. Они применяют информацию из онтологии и базы знаний по экологии в своей работе и учебе.

В СГИ ОМПО (функциональная подсистема «Работа с пользователями») всем пользователям предлагается давать отзывы об использованных материалах. На основе этих отзывов определяется рейтинг каждого материала (процесс «Подготовка Секретарем рейтингов по использованию отдельных фрагментов онтологии и передача этих рейтингов пользователям»). Эти рейтинги могут применять специалисты, преподаватели и студенты при подборе материалов для своей работы и учебы.

Пользователи регистрируются на портале WKL для применения онтологии и базы знаний по экологии. После регистрации функциональная подсистема «Администрирование» выделяет каждому пользователю Рабочий кабинет и в нем открывает доступ к материалам онтологии и базы знаний по экологии, в частности к информации об экологических факторах, добавлен-

ной в очередную версию онтологии по экологии. Теперь пользователи могут получать эту новую информацию в своих Рабочих кабинетах на портале WKL и применять ее в работе и учебе.

Создание онтологии по экологии сначала выполнялось вручную, что было медленно и сопровождалось большим количеством ошибок, которые выявлялись и исправлялись также вручную. В настоящее время продолжено развитие онтологии по экологии с помощью специально разработанной для этих целей СГИ ОМПО (см. разд. 3). Используется также разработанная информационная система для онтологического моделирования других предметных областей.

Применение СГИ ОМПО позволило:

1) снизить долю рутинных работ при подборе и назначении экспертов, переписке с экспертами, архивировании информации, протоколировании всех технологических операций, автоматическом резервном копировании и восстановлении информации в случае аварийных ситуаций и др.;

2) обеспечить более четкое и оперативное выполнение таких технологических процессов, как вычитка текстов, редактирование текстов, поиск дублирующей информации, устранение дублирующей информации и др.

Неформальный анализ практического использования системы показал, что онтологическое моделирование с помощью СГИ ОМПО снижает трудоемкость и ускоряет сроки создания онтологий и баз знаний.

Проведем сравнительный анализ разработанной информационной системы с применяемыми на сегодняшний день системами для создания онтологий:

Protégé (URL: <http://protege.stanford.edu>);

Ontolingua (URL: <http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/>);

OntoStudio (панель OntoEdit) (URL: <https://www.semafora-systems.com/ontobroker-and-ontostudio-x>);

Fluent Editor (URL: <http://cognitum.eu/semantics/fluenteditor/>).

Сравнение осуществим по следующим параметрам: сложность использования, хранение информации, расширение, наличие аксиом и правил, автоматизация пополнения (таблица).

Сравнительный анализ систем для создания онтологий

*Comparative analysis of systems for creating ontologies*

Параметр <i>Parameter</i>	Система <i>System</i>				
	Protégé	Ontolingua	OntoStudio	Fluent Editor	СГИ ОМПО <i>SGI OMPO</i>
Сложность использования	Средняя	Высокая	Средняя	Низкая	Низкая
Хранение информации	Файлы	Серверная база данных	Файлы	Файлы	Серверная база данных
Расширение	Возможно	Невозможно	Возможно	Невозможно	Возможно
Наличие аксиом и правил	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется
Автоматизация пополнения	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Имеется

Анализ показал, что разработанная информационная система по большинству параметров не уступает рассмотренным системам и в то же время является более простой при использовании и расширении.

**Заключение.** В работе представлена математическая модель онтологии и базы знаний. На основе этой модели и теории систем гибридного интеллекта (книги [8, 9], статьи [10–12]) автором реализована система гибридного интеллекта для онтологического моделирования

предметных областей. Кратко описаны основные функциональные подсистемы этой системы. Рассмотрено практическое применение разработанной информационной системы на примере онтологического моделирования экологии и проведен его неформальный анализ. Также выполнен сравнительный анализ представленной информационной системы с применяемыми на сегодняшний день системами для создания онтологий.

На основе проведенного сравнительного анализа и неформального анализа практического применения сделан вывод о том, что онтологическое моделирование с помощью разработанной информационной системы снижает трудоемкость и ускоряет сроки создания онтологий и баз знаний.

### Список использованных источников

1. Грегер, С. Э. Построение онтологии архитектуры информационной системы / С. Э. Грегер, С. В. Поршневу // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10. – С. 2405–2409.
2. Kumar, A. The Ontology of Blood Pressure: A Case Study in Creating Ontological Partitions in Biomedicine / A. Kumar, B. Smith. – 2015. – Режим доступа: <http://ontology.buffalo.edu/medo/BPO.pdf>. – Дата доступа: 14.01.2021.
3. Пальчунов, Д. Е. Применение теоретико-модельных методов и онтологического моделирования для автоматизации диагностирования заболеваний / Д. Е. Пальчунов, Г. Э. Яхьяева, О. В. Ясинская // *Вестник НГУ. Сер. «Информационные технологии»*. – 2015. – Т. 13(3). – С. 42–51.
4. Онтология медицинской диагностики для интеллектуальных систем поддержки принятия решений / В. В. Грибова [и др.] // *Онтология проектирования*. – 2018. – Т. 8, № 1(27). – С. 58–73.
5. Ландэ, Д. В. Подход к созданию терминологических онтологий / Д. В. Ландэ, А. А. Снарский // *Онтология проектирования*. – 2014. – № 2(12). – С. 83–91.
6. Sowa, J. Building, Sharing and Merging Ontologies / J. Sowa. – 2015. – Режим доступа: <http://www.jfsowa.com/ontology/ontoshar.htm>. – Дата доступа: 14.01.2021.
7. Самойлов, Д. Е. Анализ неполных данных в задачах построения формальных онтологий / Д. Е. Самойлов, В. А. Семенова, С. В. Смирнов // *Онтология проектирования*. – 2016. – Т. 6, № 3(21). – С. 317–339. <http://doi.org/10.18287/2223-9537-2016-6-3-317-339>
8. Бухаров, М. Н. Системы гибридного интеллекта / М. Н. Бухаров. – М. : Научтехлитиздат, 2005. – 352 с.
9. Бухаров, М. Н. Теория систем гибридного интеллекта. Проектирование, стандартизация, моделирование и оптимизация : монография / М. Н. Бухаров. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 214 с.
10. Бухаров, М. Н. Управление сложными системами на основе гибридного интеллекта / М. Н. Бухаров // *Спецтехника и связь*. – 2015. – № 3. – С. 43–55.
11. Бухаров, М. Н. Управление сложными научно-техническими системами на основе гибридного интеллекта / М. Н. Бухаров // *Информационно-технологический вестник*. – 2015. – № 4. – С. 72–98.
12. Бухаров, М. Н. Инструментальные средства для создания систем гибридного интеллекта / М. Н. Бухаров // *Вестник РосНОУ. Сер. «Сложные системы: модели, анализ и управление»*. – 2018. – № 1. – С. 98–105.
13. Gruber, T. R. A Translation Approach to Portable Ontology Specification / T. R. Gruber // *Knowledge Acquisition*. – 1993. – Vol. 5, iss. 2. – P. 199–220.

---

### References

1. Greger S. E., Porshnev S. V. *Construction of ontology of information system architecture*. *Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research]*, 2013, no. 10, pp. 2405–2409 (In Russ.).
2. Kumar A., Smith B. *The Ontology of Blood Pressure: A Case Study in Creating Ontological Partitions in Biomedicine*, 2015. Available at: <http://ontology.buffalo.edu/medo/BPO.pdf> (accessed 14.01.2021).
3. Palchunov D. E., Yakhyaeva G. E., Yasinskaya O. V. *Application of theoretical and model methods and ontological modeling for automation of disease diagnosis*. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Informacionnye tehnologii" [Bulletin of the Novosibirsk State University. Series "Information Technology"]*, 2015, vol. 13(3), pp. 42–51 (In Russ.).
4. Gribova V. V., Petryaeva M. V., Okun D. B., Shalfeeva E. A. *Ontology of medical diagnostics for intelligent decision support systems*. *Ontologija proektirovanija [Design Ontology]*, 2018, vol. 8, no. 1(27), pp. 58–73 (In Russ.).

5. Lande D. V., Snarsky A. A. *Approach to the creation of terminological ontologies*. Ontologija proektirovanija [*Design Ontology*], 2014, no. 2(12), pp. 83–91 (In Russ.).
6. Sowa J. *Building, Sharing and Merging Ontologies*, 2015. Available at: <http://www.jfsowa.com/ontology/ontoshar.htm> (accessed 14.01.2021).
7. Samoilov D. E., Semenova V. A., Smirnov S. V. *Analysis of incomplete data in the problems of building formal ontologies*. Ontologija proektirovanija [*Design Ontology*], 2016, vol. 6, no. 3(21), pp. 317–339. (In Russ.). <http://doi.org/10.18287/2223-9537-2016-6-3-317-339>
8. Bukharov M. N. *Sistemy gibridnogo intellekta. Hybrid Intelligence Systems*. Moscow, Nauchtehlitizdat, 2005, 352 p. (In Russ.).
9. Bukharov M. N. *Teorija sistem gibridnogo intellekta. Proektirovanie, standartizacija, modelirovanie i optimizacija. Theory of Hybrid Intelligence Systems. Design, Standardization, Modeling and Optimization*. Moscow, Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija "Moskovskij gosudarstvennyj universitet lesa", 2008, 214 p. (In Russ.).
10. Bukharov M. N. *Management of Complex Systems Based on Hybrid Intelligence*. *Spectehnika i svjaz' [Special Machinery and Communications]*, 2015, no. 3, pp. 43–55 (In Russ.).
11. Bukharov M. N. *Management of Complex Scientific and Technical Systems Based on Hybrid Intelligence*. *Informacionno-tehnologicheskij vestnik [Information and Technological Bulletin]*, 2015, no. 4, pp. 72–98 (In Russ.).
12. Bukharov M. N. *Tools for Creating Hybrid Intelligence Systems*. *Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Serija "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie" [Bulletin of the Russian New University. Series "Complex Systems: Models, Analysis and Control"]*, 2018, no. 1, pp. 98–105 (In Russ.).
13. Gruber T. R. *A Translation Approach to Portable Ontology Specification*. *Knowledge Acquisition*, 1993, vol. 5, iss. 2, pp. 199–220.

#### Информация об авторе

Бухаров Михаил Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук», Москва, Россия.  
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1420-179X>  
E-mail: [oberonco@mail.ru](mailto:oberonco@mail.ru)

#### Information about the author

Mikhail N. Bukharov, Ph. D. (Phys.-Math.), Senior Researcher, Associate Professor, Federal State Budgetary Institution of Science "Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of Russian Academy of Sciences", Moscow, Russia.  
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1420-179X>  
E-mail: [oberonco@mail.ru](mailto:oberonco@mail.ru)