

## Создание Больших Знаний и расширение областей применения миварных технологий логического искусственного интеллекта

Варламов Олег Олегович

МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИИ МИВАР, Россия, Москва,

ovar@yandex.ru

**Аннотация.** Преимущества миварных экспертных систем логического искусственного интеллекта (ИИ) заключаются в кардинальном снижении вычислительной сложности автоматического построения алгоритмов и логического вывода с  $N!$  до линейной  $N$  и расширении базовых продукций формата «Если, То» с формальной логики до реализации вычислительных процедур в едином информационно-управляющем пространстве. Это позволяет создавать системы поддержки принятия решений, моделировать реальные бизнес-процессы, планировать и перестраивать в реальном времени действия робототехнических комплексов и киберфизических систем, а также автоматически строить алгоритмы решения задач на основании миварной базы знаний. «Большие Знания» – это объединение и синтез разнородных баз знаний, что обеспечивает качественный переход и предоставляет большие возможности для создания систем ИИ. Разработкой машины логического вывода «Разуматор» занимаются программисты, а созданием Больших Знаний – аналитики, которых называют: инженеры знаний, когнитологи и т.п. Большие Знания можно постепенно наращивать и увеличивать в размерах, как количественно, так и качественно, например, для создания Активной Миварной Энциклопедии. Создание новых баз знаний для различных предметных областей привело к расширению областей применения миварных технологий и позволило решать новые для экспертных систем задачи: планирования маршрутов роботов; оптимизации распределения ресурсов; планирования действий и составление сметы проекта; динамический расчет многомерных векторов и их сравнение; подбора команд и комбинаций персонажей; информационной безопасности и многого других. Фактически, это все задачи, для решения которых человек рассуждает и использует правила «Если-То» или процедуры «Вход-Действие-Выход». Кроме того, для создания комплексных систем ИИ миварные технологии успешно совмещаются с нейросетевыми методами, например, для распознавания образов и речи. Логический искусственный интеллект создан на основе миварных технологий и теперь его надо обучать путем создания Больших Знаний, что позволит повысить производительность труда и создать автономных интеллектуальных роботов и многое другое.

**Ключевые слова:** мивар, миварные сети, базы знаний, онтологии, система принятия решений, миварная экспертная система, MOGAN, MIPRA, КЭСМИ, Wi!Mi, Разуматор, Большие Знания, роботы, моделирование, обучение

**Цитирование:** Варламов О.О. Создание Больших Знаний и расширение областей применения миварных технологий логического искусственного интеллекта / О.О. Варламов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2023. – № 4(32). – С. 30-41. – DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.003.

**Введение.** В настоящее время в области логического искусственного интеллекта (ИИ) продолжается активное развитие научной школы миварных технологий [1], по которым в РИНЦ размещено уже более 730 научных публикаций. В международных англоязычных журналах уровня Q1/Q2 также опубликованы статьи по созданию миварных экспертных систем (МЭС), например, конструктор МЭС – КЭСМИ, Wi!Mi, Разуматор [2], применение МЭС для беспилотного транспорта [3] и в качестве систем принятия решений – «мозгов для автономных роботов» [4]. Напомним, что главное преимущество миварных экспертных систем логического искусственного интеллекта (ЛИИ) состоит в кардинальном снижении вычислительной сложности логического вывода и/или автоматического построения алгоритмов с  $N!$  до линейной ( $N$ ) [1, 2] (относительно количества правил «Если, То») и расширение базовых продукций формата «Если, То» с обычной логики до реализации вычислительных процедур, сервисов, агентов и т.п., включая описание процессов в формате «Вход-Действие-Выход», в едином информационно-управляющем пространстве (ЕИУП). Это позволяет создавать системы поддержки принятия решений, моделировать реальные бизнес-процессы, планировать и перестраивать в реальном времени действия робототехнических комплексов (РТК) и киберфизических

систем, а также автоматически строить алгоритмы решения задач на основании миварной базы знаний [5].

«Большие Знания» – это объединение и синтез разнородных баз знаний, что обеспечивает качественный переход и предоставляет большие возможности для создания систем ИИ. Напомним, что изначально область ИИ занималась автоматизацией разумной деятельности человека. Все соответствующие западные и российские исследования направлены именно на это (миварные технологии преследуют ту же цель). Поэтому, несмотря на различные споры о том, что же является искусственным интеллектом, в данном контексте целесообразно будет привести следующее формальное определение ИИ: искусственный интеллект – область информатики, занимающаяся автоматизацией разумной деятельности человека [5]. Кроме того, напомним, что согласно российскому классификатору УДК, искусственный интеллект является частью кибернетики.

Системный анализ научной области ИИ позволил создать системную трехмерную модель ИИ (рис.1), которая объединяет все области, уровни исследований и типы создаваемых систем ИИ:

- представление знаний в разделе «экспертные системы»;
- смысловое понимание естественного языка в разделе семантической обработки текстов;
- распознавание образов, которые могут генерироваться различными датчиками и представлять из себя картинки, видео, звуки и т.п. сигналы от систем технического зрения в разделе «смысловое понимание образов»;
- управление своими «актерами» для роботов в реальном физическом мире в разделе «автоматизированные системы управления».

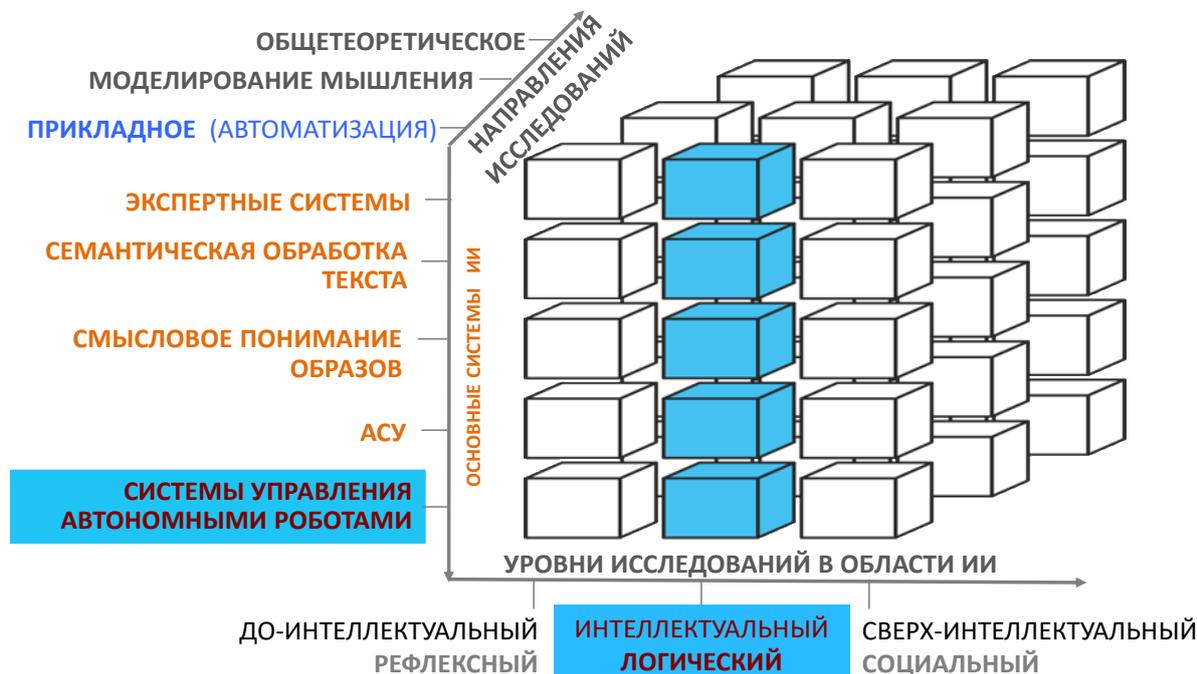


Рис. 1. Системная модель ИИ и место миварных технологий

Отдельно выделен класс систем ИИ в виде систем принятия решений и управления автономными роботами, которые должны обладать всеми предыдущими системами, да еще и работающими вместе внутри таких роботов, что исключает возможность использования суперкомпьютеров для дистанционного управления роботами.

Под термином «системы логического искусственного интеллекта» (СИИ) в этой работе понимается подкласс СИИ, которые можно охарактеризовать как активные самообучающиеся

логически рассуждающие системы (ЛРС). Стоит отметить, что представленное определение не раскрывает проблему создания полностью автоматического ИИ, который по своим возможностям будет превосходить как «типового» человека [6], так и самого «умного», и даже коллективы специалистов-экспертов, например, решающих сверхсложные задачи оценивания и прогнозирования сложных предметных областей [7].

Как известно, логический вывод и экспертные системы были основой «второй волны ИИ» в 80-90 годы прошлого века [8]. Термин «базы знаний» появился тогда же и широко использовался в области ИИ [8]. База знаний (БЗ) – основа систем логического ИИ, как одного из классов интеллектуальных систем, где знания описаны на некотором языке представления знаний [9]. Сегодня знания приобрели чисто декларативную форму, то есть знаниями считаются предложения, записанные на языках представления знаний, приближенных к естественному языку и понятных неспециалистам. Там же написано, что под здравым смыслом понимают знания, позволяющие принимать правильные решения и делать правильные предположения, основываясь на логическом мышлении и накопленном опыте [9, 10]. В наше время повсеместной «рекламы» нейросетевых технологий, целесообразно напомнить, что термин «искусственный интеллект» (artificial intelligence) был предложен в 1956 году. При этом, слово intelligence означает «умение рассуждать разумно», а вовсе не «интеллект», для которого есть термин intellect [9]. В классической книге Дж. Люгера отмечено, что интеллект – это сложная область знаний, которую невозможно описать с помощью какой-то одной теории [6]. Подчеркнем, что для создания и развития перспективных систем ИИ (примеры которых показаны в [11-23] и подробнее описаны ниже), рефлексные статистические нейросетевые технологии необходимо использовать вместе с технологиями логического уровня ИИ, к которым относятся экспертные системы.

**Научная область «экспертные системы».** Миварные технологии стартовали с решения задач представления знаний и их быстрой логико-вычислительной обработки, что ближе всего к области экспертных систем [1-2]. Приведем краткую информацию по тематике традиционных [24, 25] экспертных [26, 27] систем (ЭС). Экспертные системы [24, 28] как самостоятельное [29, 30] направление в искусственном интеллекте [28] сформировалось в конце 1970-х гг. Этап активного развития ЭС в СССР [31, 32] пришелся на 1980-1990-ые годы [33, 34], когда было создано [30] несколько отечественных [31, 33] ЭС [34].

Важную роль в истории ЭС сыграло сообщение японского комитета по разработке ЭВМ пятого поколения, в котором основное внимание уделялось развитию «интеллектуальных способностей» компьютеров [10], с тем, чтобы они могли оперировать не только данными, но и знаниями, как это делают специалисты (эксперты) при выработке умозаключений. Обычно к ЭС относят системы, основанные на знании, т.е. системы, вычислительная возможность которых является в первую очередь следствием их наращиваемой базы знаний (БЗ) и только во вторую очередь определяется используемыми методами. Экспертные системы не отвергают и не заменяют традиционного подхода к программированию, они отличаются от традиционных программ тем, что ориентированы на решение неформализованных задач [10]. Главное отличие ЭС от систем обработки данных состоит в том, что в них используется символичный, а не числовой способ представления данных, а в качестве методов обработки информации применяются процедуры логического вывода и эвристического поиска решений.

Там же в [10] приведено описание важного для ЭС понятия: одна из моделей представления знаний – продукционная модель. В моделях этого типа используются некоторые элементы логических и сетевых моделей. Из логических моделей заимствована идея правил вывода, которые здесь называются продукциями, а из сетевых моделей – описание знаний в виде семантической сети. В результате применения правил вывода к фрагментам сетевого описания

происходит трансформация семантической сети за счет смены ее фрагментов, наращивания сети и исключения из нее ненужных фрагментов. Таким образом, в продукционных моделях процедурная информация явно выделена и описывается иными средствами, чем декларативная информация.

В области ЭС практически сразу же начались исследования [35] по оптимизации [36] логического вывода и различного представления знаний [37], например, в виде онтологий [38]. Кроме того, были проведены работы по альтернативным [39] средствам ускорения вывода в продукционных [40] ЭС на основе Rete-сетей [41]. Отдельным направлением стали и попытки ускорить работу ЭС на основе сетей Петри [42], которые применялись для моделирования систем [43]. Отметим, что и в России [44] применяли подобные алгоритму RETE способы причинно-следственного упорядочивания [45] и организации знаний [46] для правдоподобных рассуждений [47]. Сразу отметим, что способ создания миварных сетей с линейной вычислительной сложностью логического вывода был предложен в 2002 году [1], его подробное описание в иностранных источниках размещено в 2011 году [48], а в 2015 зарегистрирован патент на изобретение автоматизированного построения маршрута логического вывода в миварной базе знаний [49]. Таким образом, миварные сети позволили в общем случае избавиться от полного перебора и придумывания различных эвристик для логического вывода на продукциях общего вида «Если, То», что позволило обрабатывать более 5 млн продукционных правил в общем случае [50] за доли секунды на обычном компьютере или ноутбуке [2, 4].

Таким образом, обобщим, что понимают под термином экспертные системы в литературе [2, 6, 8-10, 12, 16, 24-50]: экспертные системы предназначены для решения задач на основе накапливаемой базы знаний, отражающей опыт работы экспертов в рассматриваемой проблемной области. В настоящее время ЭС используются при решении задач следующих типов: принятие решений в условиях неопределенности (неполноты), интерпретация символов и сигналов, предсказание, диагностика, конструирование, планирование, управление, контроль и др. Кроме того, в [10] конкретизированы классы задач, решаемых экспертными системами реального времени (динамическими): мониторинг в реальном масштабе времени, системы управления верхнего уровня, системы обнаружения неисправностей, диагностика, составление расписаний, планирование, оптимизация, системы-советчики оператора, системы проектирования [10]. Важным ограничением ЭС в те годы было то, что алгоритмическое решение существует, но его нельзя использовать по причине большой размерности пространства решений и ограничений на ресурсы (времени, памяти) [10].

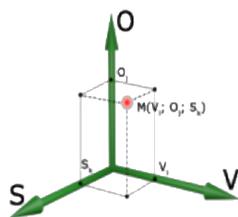
**Миварный линейный логический вывод и переход «количества в качество».** Напомним, что разработаны три миварные технологии [1, 5, 11] (рис.2), которые получены в результате фундаментальных научных исследований и доведены до практического использования [12] и внедрений в различных программно-аппаратных комплексах [13]:

1. Накопление информации в формализме гносеологической модели знаний «Вещь-Свойство-Отношение» (ВСО), которая обобщает все известные модели данных баз данных.

2. Логический вывод линейной сложности на миварных сетях «переменные, правила» ( $\langle P, R \rangle$ ), созданных путем обобщения продукционного подхода и сетей Петри.

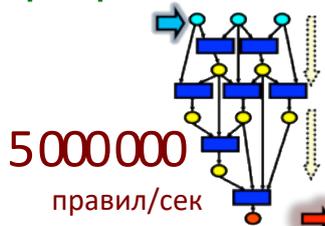
3. Многомерная открытая гносеологическая активная сеть (MOGAN), позволяющая проводить и накопление, и логико-вычислительную обработку на миварных сетях в ВСО.

### 1. Единое Информационное Пространство



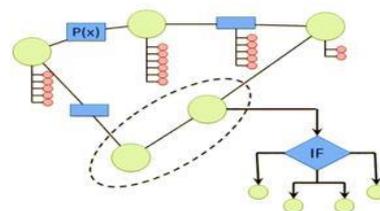
**НАКОПЛЕНИЕ  
ИНФОРМАЦИИ=>  
БОЛЬШИЕ ЗНАНИЯ**

### 2. Единое Управляющее Пространство



**БЫСТРАЯ ЛОГИЧЕСКАЯ И  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ  
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

### 3. Единое Информационно-Управляющее Пространство



**МНОГОМЕРНАЯ ОТКРЫТАЯ  
ГНОСЕОЛОГИЧЕСКАЯ  
АКТИВНАЯ СЕТЬ (MOGAN)**

БАЗЫ ЗНАНИЙ «VSO», ЛИНЕЙНЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ ВЫВОД, СТАТИСТИЧЕСКАЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ ЕДИНОЕ ЦЕЛОЕ, ЧТО ПОЗВОЛЯЕТ АВТОМАТИЧЕСКИ СТРОИТЬ **ГИБКИЕ АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЙ** И ПРОИЗВОДИТЬ ВЫЧИСЛЕНИЯ В АВТОНОМНЫХ РОБОТАХ

**Рис. 2.** Три основных миварных технологии логического ИИ

После снятия фундаментального ограничения по скорости логико-вычислительной обработки – «проклятия размерности полного перебора» и достижения в МЭС скорости обработки более 5 млн правил/сек [2, 5, 11-13, 48-50] на обычных однопроцессорных компьютерах, актуальной остается проблема создания различных баз знаний для самых разных предметных областей и объединение их на основе формализма миварных сетей - двудольных ориентированных графов  $\langle P, R \rangle$  [1], в общую систему представления и обработки знаний.

**Большие Знания.** Данную задачу целесообразно называть «Большие Знания», например, по аналогии с «Большими Данными» для статистических нейросетевых методов ИИ. Здесь мы действительно видим явный переход «количества в качество», когда значительное количественное увеличение возможностей компьютеров привело к качественному росту возможностей нейросетей рефлексного ИИ. Новая научная проблема выявлена в процессе развития миварных технологий логического ИИ, которая заключается в необходимости создания разнообразных баз знаний экспертных систем в формализме миварных сетей (двудольных ориентированных графов  $\langle P, R \rangle$ ).

Для большей наглядности этой научной проблемы, можно провести следующую аналогию: создание паровоза и строительства сети железных дорог, где миварная машина логического вывода «Разуматор» - это *паровоз*, а *сеть железных дорог* – это созданные базы знаний в самых разных предметных областях, которые в итоге и образуют «Большие Знания». По этой аналогии понятно, что разработка программного обеспечения «Разуматор» и создание баз знаний Больших Знаний – это две разные области деятельности, которые требуют и разных специализаций. Разработкой Разуматора занимаются программисты, а созданием Больших Знаний – аналитики, которых в данный момент называют по-разному: инженеры знаний, когнитологи и т.п. Хотя и те, и другие специальности – это все разные специализации одной «классической специальности»: прикладной математики. Миварный подход обладает свойством эволюционного развития и поэтому всегда можно добавить или изменить правила в Миварной Базе Знаний (МБЗ). По приведенной выше аналогии это означает, что можно строить различные «ж/д дороги» в разных областях научной деятельности, а потом их можно будет соединить в одну общую сеть и получить Большие Знания. Кроме того, созданные Большие Знания [14] можно постепенно наращивать и увеличивать в размерах [15], как количественно, так и качественно [16, с.236-243], например, для создания Активной Миварной Энциклопедии [16, с.178-186]. Это подтверждает вывод: логический искусственный интеллект [16] создан на основе миварных сетей и теперь его надо обучать [16, 50] путем создания Больших Знаний.

**Автоматическое создание баз знаний.** В последнее время возникло новое направление ИИ по автоматическому созданию баз знаний (фактов и правил) [16, 50]. Проведен системный анализ этой проблемы и учеными нашей научно-исследовательской инициативы (НИИ) МИВАР предложены новые подходы по обучению и автоматизации процессов создания Больших Знаний. Выделены два новых направления:

- создание баз знаний [16, с.194-212] на основе систем понимания естественного языка для автоматического преобразования текстов в факты и правила, т.е. в Большие Знания;
- автоматическое построение баз знаний [17] для планирования действий роботов [18] на основе генерации правил по закономерностям и возможным действиям РТК.

Отметим, что остается традиционный подход по «ручному созданию» баз знаний аналитиками-когнитологами и экспертами в различных предметных областях [16-23, 50].

**Новые области применения миварных технологий ЛИИ.** Кроме традиционных областей применения ЭС, учеными миварной научной школы найдены *новые предметные области*, в которых миварные технологии применяют для решения следующих научных задач:

- 1) планирования трехмерных маршрутов роботов с учетом препятствий [19];
- 2) оптимизация [16, с. 213-219] с построением нескольких логических выводов [20] на одной сети миварных правил и расчет возможных ограничений при планировании заказов;
- 3) планирование действий по обработке и сборке изделий [16, с. 420-427], а также автоматическое составление сметы для разных задач, например, строительство, выполнение проекта в ИТ-сфере [16, с. 6-12];
- 4) принятие обоснованного решения на основе гибкого расчета, получаемого путем логического вывода, многомерных векторов и их динамического сравнения [21] в реальном времени, например, при покупке рекламы [22], оценки соотношения «покупатель» и «товар», выборе «целевой группы» и т.п. [16, с. 68-74];
- 5) для автоматизации различных служб технической поддержки [16, с. 20-28];
- 6) для технической [16, с. 75-81] защиты информации [16, с. 269-275] и информационной безопасности [16, с. 29-37] различных организаций [16, с. 59-67];
- 7) подбора команд [16, с. 122-129] и комбинаций различных персонажей [16, с. 44-53] по разным критериям;
- 8) управления образовательными программами [16, с. 323-329] и учебными дисциплинами [16, с. 330-337];
- 9) решения кадровых вопросов [16, с. 98-104] и уменьшения текучести кадров [16, с. 171-177];
- 10) поиска информации по репозиториям [16, с. 165-171] и библиотекам [16, с. 236-243], а также для многого другого, изложенного в [16, 50].

Важно подчеркнуть, что в настоящее время неоднократно показано [16, 50] совместное [16, с. 244-250] применение миварных технологий логического ИИ с нейросетевыми методами распознавания образов при работе с трехмерными объектами [23], распознавания речи [16, с. 275-280] и дорожных знаков [16, с. 302-308].

Таким образом, количественный рост скорости логического вывода и расширение формализма представления Больших Знаний позволяют перейти к новому качеству и значительно расширить области применения миварных технологий логического ИИ [11-23].

**Заключение.** Достоинства миварных экспертных систем логического искусственного интеллекта заключаются в кардинальном снижении вычислительной сложности логического вывода с  $N!$  до линейной ( $N$ ) и расширении базовых продукций формата «Если, То» с обычной логики до реализации вычислительных процедур в едином информационно-управляющем

пространстве. Разработкой Разуматора занимаются программисты, а созданием Больших Знаний – аналитики, которых называют: инженеры знаний, когнитологи и т.п. Большие Знания можно постепенно наращивать и увеличивать в размерах, как количественно, так и качественно, например, для создания Активной Миварной Энциклопедии.

Расширение областей применения миварных технологий позволило решать новые для экспертных систем задачи: планирование действий и составление сметы проекта; динамический расчет многомерных векторов и их сравнение; подбор команд и комбинаций персонажей; информационная безопасность и многое другое. Фактически, это все задачи, для решения которых человек задумывается и рассуждает.

Для создания комплексных систем ИИ миварные технологии успешно совмещаются с нейросетевыми методами, например, для распознавания образов и речи. Логический ИИ создан на основе миварных сетей и теперь его надо обучать путем создания Больших Знаний.

Термин «Большие Знания» означает не только рост количества информации, но качественное возрастание возможностей систем ИИ с использованием миварных технологий.

### Список источников

1. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. / О.О. Варламов // Миварное информационное пространство. – М.: Радио и связь, 2002. – 288 с. – EDN: RWTCOP.
2. Varlamov O.O. Wi!Mi expert system shell as the novel tool for building knowledge-based systems with linear computational complexity. International review of automatic control, 2018, vol. 11, no. 6, pp. 314-325, EDN: NUCCC.
3. Shadrin S.S., Ivanov A.M., Varlamov O.O. Experimental autonomous road vehicle with logical artificial intelligence. Journal of advanced transportation, 2017, vol. 2017, pp. 2492765, EDN: XNTRKD.
4. Varlamov O. “Brains” For Robots: Application of the mivar expert systems for implementation of autonomous intelligent robots. Big Data Research, 2021, vol. 25, pp. 100241, EDN: HRYLWL.
5. Варламов О.О. Основы создания миварных экспертных систем. Москва, 2021, EDN: GQYNWE.
6. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е изд. / Дж.Ф. Люгер. – М.: Вильямс, 2005. – 864 с.
7. Ростовцев Ю.Г. Математические методы и модели оценивания военно-политической обстановки / Ю.Г. Ростовцев. – МО СССР, 1986. – 312 с.
8. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – Санкт-Петербург: Питер, 2000. – 384 с. – (Учебник). – ISBN 5-272-00071-4. – EDN: TGWANT.
9. Остроух А.В. Введение в искусственный интеллект / А.В. Остроух. – Красноярск: Научно-инновац. центр, 2020. – 250 с.
10. Остроух А.В. Интеллектуальные системы / А.В. Остроух. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2020. – 316 с.
11. Варламов О.О. Миварные базы данных и правил / О.О. Варламов. – Москва, 2021. – EDN: CGGSAQ.
12. Варламов О.О. 18 примеров миварных экспертных систем / О.О. Варламов. – Москва, 2021. – EDN: HAMRDZ.
13. Варламов О.О. Обзор 18 миварных экспертных систем, созданных на основе MOGAN / О.О. Варламов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 2021. – № 3 (101). – С. 5-20. – EDN: PBDXHI.
14. Бадалов А.Ю. Активная миварная интернет-энциклопедия и развитие миварных сетей на основе многомерных бинарных матриц / А.Ю. Бадалов, Р.А. Санду // Искусственный интеллект, 2010. – № 4. – С. 549-557. – EDN: UIMXAV.
15. Варламов О.О. Миварный подход к разработке интеллектуальных систем и проект создания мультипредметной активной миварной интернет-энциклопедии / О.О. Варламов. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 2011. – № 1-1 (39). – С. 55-64. – EDN: NECGIB.
16. Мивар'22. – Москва: Издательский Дом «Инфра-М», 2022. – 440 с. – EDN: RQIFBK.
17. Коценко А.А. О подходе к автоматической генерации миварных баз знаний для обеспечения трехмерного движения роботов / А.А. Коценко // В сборнике: Перспективные направления развития отделочно-упрочняющих и виброволновых технологий, 2023. – С. 301-308. – EDN: RKVDHK.
18. Аладин Д.В. О подходе автоматического построения миварных баз знаний для решения управленческих задач в технических системах / Д.В. Аладин // В сборнике: Перспективные направления развития отделочно-упрочняющих и виброволновых технологий, 2023. – С. 208-216. – EDN: JTOVHK.

19. Коценко А.А. О подходе к применению миварных экспертных систем для планирования трехмерных маршрутов роботов с учетом препятствий / А.А. Коценко // В сборнике: Перспективные направления развития отделочно-упрочняющих и виброволновых технологий, 2023. – С.309-315. – EDN: GFBRKU.
20. Коценко А.А. Методика применения миварной экспертной системы для автоматизированного поиска нескольких траекторий робота / А.А. Коценко, А.В. Герасименко, А.В. Калашникова и др. // Естественные и технические науки, 2022. – № 5(168). – С. 209-221. – DOI 10.25633/ETN.2022.05.11. – EDN: XSXYXM.
21. Семенов А.А. Разработка метода сравнения двух многомерных векторов в реальном времени на основе миварных экспертных систем / А.А. Семенов // Проблемы искусственного интеллекта, 2020. – № 2 (17). – С. 94-109. – EDN: FXAOKP.
22. Семенов А.А. Исследование способов подбора рекламных кампаний на основе сравнения многомерных векторов / А.А. Семенов // Проблемы искусственного интеллекта, 2020. – № 1 (16). – С. 89-104. – EDN: UEBEPL.
23. Синцов М.Ю. О развитии миварного подхода к интеллектуальному распознаванию образов для работы с трехмерными объектами / М.Ю. Синцов, А.Ю. Озерин, А.А. Кузин [и др.]. // Радиопромышленность, 2015. – № 3. – С. 172-183. – EDN: UQEP0Z.
24. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам / Д. Уотермен. – М.: Мир, 1989. – 388 с.
25. Таунсенд К. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ / К. Таунсенд, Д. Фохт. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 320 с.
26. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. 4-е изд.: Пер с англ. – Москва: Вильямс, 2007. – 1152 с. – EDN: QMQTDD.
27. Giarratano J.C., Riley G.D. Expert systems: principles and programming, 4-th edition. Course technology, 2004.
28. Luger F.G. Artificial Intelligence: structure and strategies for complex problem solving. Boston, Pearson, 2009.
29. Попов Э.В. Искусственный интеллект: экспертные системы / Э.В. Попов. – М.: Наука, 1990.
30. Экспертные системы. Базы знаний и данных. Материалы семинара // Под рук. Э.В. Попова. – М.: ЦРДЖ, 1992. – 171 с.
31. Кирсанов Б.С. Отечественные оболочки экспертных систем / Б.С. Кирсанов, Э.В. Попов // Справочник по искусственному интеллекту. – М.: Радио и связь, 1990. – Т. 1. – С. 369-388.
32. Попов Э.В. Статистические и динамические экспертные системы / Э.В. Попов, И.Б. Фоминых, Е.Б. Кисель и др. – М.: Финансы и статистика, 1996.
33. Яшин А.М. Разработка экспертных систем / А.М. Яшин. – Л.: ЛПИ, 1990.
34. Справочник по искусственному интеллекту в 3-х т.//Под ред. Э.В. Попова, Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990.
35. Тейз А. Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию/ А. Тейз, П. Грибомон, Ж. Луи [и др.]. – М.: Мир, 1990. – 432 с.
36. Chandru V., Hooker J. Optimization Methods for Logical Inference, New York: Wiley, 1999.
37. Russel S.J., Norvig P. Artificial Intelligence: a modern approach (3rd ed.). Boston, Pearson, 2010.
38. Sadik A.R., Urban B. An ontology-based approach to enable knowledge representation and reasoning. Future Internet, 9(4), 90, 2017.
39. Forgy Ch. A network match routine for production systems. Working Paper, 1974.
40. Forgy Ch. On the efficient implementation of production systems. Ph. D. Thesis. Carnegie-Mellon University, 1979.
41. Forgy Ch. Rete: A fast algorithm for the many pattern/many object pattern match problem. Artificial intelligence, 1982, 19, pp. 17-37.
42. Котов В.Е. Сети Петри / В.Е. Котов. – М: Наука, 1984. – 160 с.
43. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М.:, 1984. – 264с.
44. Аршинский Л.В. Многозначные логики с векторной семантикой / Л.В. Аршинский. – Восточно-Сибирский институт МВД России. – Иркутск, 2003. – 46 с. – Деп. в ВИНТИ 13.02.2003, № 281-B2003. – EDN: QJBXBJ.
45. Аршинский Л.В. Интервальное оценивание истинности в системах автоматизированных рассуждений на основе VTF-логик / Л.В. Аршинский // IV международная конференция «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'05: труды. Москва. ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, 2005. – С. 1061-1074.
46. Аршинский Л.В. Организация знаний в системе моделирования правдоподобных рассуждений «Гераклит» / Л.В. Аршинский // XVII Байкальская Всероссийская конференция «Информационные и математические технологии в науке и управлении»: труды. Т. 3. Иркутск, ИСЭМ СО РАН, 2012. – С. 19 - 25.
47. Аршинский Л.В. Особенности работы машины вывода системы моделирования правдоподобных рассуждений "Гераклит" // Л.В. Аршинский // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2016. – № 2. – С. 18-29. – EDN WZBLJV.

48. Varlamov O. MIVAR: Transition from productions to bipartite graphs MIVAR nets and practical realization of automated constructor of algorithms handling more than three million production rules. Arxiv.org: arXiv preprint arXiv:1111.1321, 2011, 23 p., available at: <https://arxiv.org/abs/1111.1321>.
49. Варламов О.О. Автоматизированное построение маршрута логического вывода в миварной базе знаний / О.О. Варламов, А.М. Хадиев, М.О. Чибирова [и др.] // Патент на изобретение RUS 2607995 11.02.2015., опубликовано 11.01.2017. – бюл. №2. – 43 с.
50. Мивар'23: Сборник статей. – М. "Инфра-М", 2023. – 598 с. – EDN: NXALJA.

**Варламов Олег Олегович.** Профессор, доктор технических наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана, профессор кафедры ИУ5 Системы обработки информации и управления, научный руководитель Научно-исследовательской инициативы (НИИ) МИВАР на кафедре ИУ5 в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Основные направления исследований автора: комплексные системы искусственного интеллекта, кибернетика, информатика, миварные технологии логического искусственного интеллекта, базы знаний, экспертные системы, системы поддержки принятия решений, понимание текстов на русском языке, понимание образов, системы принятия решений для автономных робототехнических комплексов. AuthorID: 143177; SPIN: 7983-9762; Google Scholar: kDy5G1MAAAJ; ORCID: 0000-0002-2858-1383; Scopus: 57195354995; ResearcherID: U-4856-2017, ovar@yandex.ru, ovarlamov@gmail.com, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

UDC 004.891 + 004.896 + 007.52

DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.003

## Creating Big Knowledge and expanding the applications of mivar technologies of logical artificial intelligence

Oleg O. Varlamov

BMSTU, SI MIVAR, Russia, Moscow, [ovarlamov@gmail.com](mailto:ovarlamov@gmail.com)

**Abstract.** The advantages of mivar expert systems of logical artificial intelligence (AI) lie in the drastic reduction in the computational complexity of automatically building algorithms and inference from  $N!$  to linear  $N$  and expansion of basic productions of the “If, Then” format from formal logic to the implementation of computational procedures in a single information and control space. This allows you to create decision support systems, simulate real business processes, plan and rebuild the actions of robotic complexes and cyber-physical systems in real time, and automatically build algorithms for solving problems based on the mivar knowledge base. “Big Knowledge” is the combination and synthesis of heterogeneous knowledge bases, which provides a qualitative transition and provides great opportunities for creating AI systems. The development of the inference machine “Razumator” is done by programmers, and the creation of Big Knowledge is done by analysts, who are called: knowledge engineers, cognitologists, etc. Great Knowledge can be gradually increased and increased in size, both quantitatively and qualitatively, for example, to create an Active Mivar Encyclopedia. The creation of new knowledge bases for various subject areas led to the expansion of the areas of application of mivar technologies and made it possible to solve new problems for expert systems: planning robot routes; optimization of resource allocation; action planning and project budgeting; dynamic calculation of multidimensional vectors and their comparison; selection of teams and combinations of characters; information security and many others. In fact, these are all problems for which a person reasons and uses the If-Then rules or the Entry-Action-Exit procedures. In addition, to create complex AI systems, mivar technologies are successfully combined with neural network methods, for example, for image and speech recognition. Logical artificial intelligence was created on the basis of mivar technologies and now it must be trained by creating Big Knowledge, which will increase labor productivity and create autonomous intelligent robots and much more.

**Keywords:** mivar, mivar networks, knowledge bases, ontologies, decision-making system, mivar expert system, MOGAN, MIPRA, CESMI, Wi!Mi, Razumator, Big Knowledge, robots, modeling, learning

## References

1. Varlamov O.O. Evolyucionnye bazy dannyh i znaniy dlya adaptivnogo sinteza intellektual'nyh sistem. Mivarnoe informacionnoe prostranstvo [Evolutionary databases and knowledge for adaptive synthesis of intelligent systems. Mivar information space]. M., Radio i svyaz' [Radio and communication], 2002, 288 p., EDN RWTCOP.
2. Varlamov O.O. Wi!Mi expert system shell as the novel tool for building knowledge-based systems with linear computational complexity. International review of automatic control, 2018, vol. 11, no. 6, pp. 314-325, EDN: NUCCC.
3. Shadrin S.S., Ivanov A.M., Varlamov O.O. Experimental autonomous road vehicle with logical artificial intelligence. Journal of advanced transportation, 2017, vol. 2017, pp. 2492765, EDN: XNTRKD.
4. Varlamov O. "Brains" For Robots: Application of the mivar expert systems for implementation of autonomous intelligent robots. Big Data Research, 2021, vol. 25, pp. 100241, EDN: HRYLWL.
5. Varlamov O.O. Osnovy sozdaniya mivarnyh ekspertnyh sistem [Fundamentals of creating mivar expert systems]. Moscow, 2021, EDN: GQYNWE.
6. Luger J.F. Iskusstvennyj intellekt: strategii i metody resheniya slozhnyh problem [Artificial Intelligence: strategies and methods for solving complex problems]. 4th ed. M.: Williams, 2005, 864 p.
7. Rostovtsev Yu.G. Matematicheskie metody i modeli ocenivaniya voenno-politicheskoy obstanovki [Mathematical methods and models for assessing the military-political situation]. USSR Ministry of Defense, 1986, 312 p.
8. Gavrilova T.A., Khoroshevsky V.F. Bazy znaniy intellektual'nyh sistem [Knowledge bases of intelligent systems]. St. Petersburg, Peter, 2000, 384 p., ISBN 5-272-00071-4, EDN TGWANT.
9. Ostroukh A.V. Vvedenie v iskusstvennyj intellekt [Introduction to artificial intelligence]. Krasnoyarsk, Scientific-innovative center, 2020, 250 p.
10. Ostroukh A.V. Intellektual'nye sistemy [Intelligent systems]. Krasnoyarsk Nauchno-innovats. tsentr, [Scientific and innovation center], 2020, 316 p.
11. Varlamov O.O. Mivarnye bazy dannyh i pravil [Mivar databases and rules]. Moscow, 2021, EDN: CGGSAQ.
12. Varlamov O.O. 18 primerov mivarnyh ekspertnyh sistem [18 examples of mivar expert systems]. Moscow, 2021, EDN: HAMRDZ.
13. Varlamov O.O. Obzor 18 mivarnyh ekspertnyh sistem, sozdannyh na osnove MOGAN [Review of 18 mivar expert systems created on the basis of MOGAN]. Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra [News of the Kabardino-Balkarian scientific center of the RAS], 2021, no. 3 (101), pp. 5-20, EDN: PBDXHI.
14. Badalov A.Yu., Sandu R.A. Aktivnaya mivarnaya internet-enciklopediya i razvitie mivarnyh setej na osnove mnogomernykh binarnykh matric [Active mivar Internet encyclopedia and development of mivar networks based on multidimensional binary matrices]. Iskusstvennyj intellekt [Artificial intelligence], 2010, no. 4, pp. 549-557, EDN:UIMXAV.
15. Varlamov O.O. Mivarnyj podhod k razrabotke intellektual'nyh sistem i proekt sozdaniya mul'tipredmetnoj aktivnoj mivarnoj internet-enciklopedii [Mivar approach to the development of intelligent systems and the project of creating a multi-subject active mivar Internet encyclopedia]. Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra [News of the Kabardino-Balkarian scientific center of the RAS], 2011, no. 1-1 (39), pp. 55-64, EDN: NECGIB.
16. Mivar'22 [Mivar'22]. Moskva, Izdatel'skiy Dom «Infra-M» [Publishing House "Infra-M"], 2022, 440 p., EDN RQIFBK.
17. Kotsenko A.A. O podhode k avtomaticheskoy generacii mivarnyh baz znaniy dlya obespecheniya trekhmernogo dvizheniya robotov [On an approach to the automatic generation of mivar knowledge bases to ensure three-dimensional movement of robots]. V sbornike: Perspektivnyye napravleniya razvitiya otdelochno-uprochnyayushchikh i vibrovolnovykh tekhnologiy [In the collection: Prospective directions for the development of finishing-hardening and vibration-wave technologies], 2023, pp. 301-308, EDN: RKVDHK.
18. Aladin D.V. O podhode k avtomaticheskogo postroeniya mivarnyh baz znaniy dlya resheniya upravlencheskih zadach v tekhnicheskikh sistemah [On the approach to automatically constructing mivar knowledge bases for solving management problems in technical systems]. V sbornike: Perspektivnyye napravleniya razvitiya otdelochno-uprochnyayushchikh i vibrovolnovykh tekhnologiy [In the collection: Prospective directions for the development of finishing-hardening and vibration-wave technologies], 2023, pp. 208-216, EDN: JTOVHK.
19. Kotsenko A.A. O podhode k primeniyu mivarnyh ekspertnyh sistem dlya planirovaniya trekhmernykh marshrutov robotov s uchetom prepyatstvij [On the approach to the use of mivar expert systems for planning three-dimensional routes of robots taking into account obstacles]. V sbornike: Perspektivnyye napravleniya razvitiya otdelochno-uprochnyayushchikh i vibrovolnovykh tekhnologiy [In the collection: Promising directions for the development of finishing-hardening and vibration-wave technologies], 2023, pp. 309-315, EDN: GFBRKU.
20. Kotsenko A. A., Gerasimenko A. V., Kalashnikova A. V. et al. Metodika primeneniya mivarnoj ekspertnoj sistemy dlya avtomatizirovannogo poiska neskol'kih traektorij robota [Methodology for using a mivar expert system for

- automated search of several robot trajectories]. *Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki* [Natural and technical sciences], 2022, no. 5(168), pp. 209-221, DOI 10.25633/ETN.2022.05.11, EDN: XSXYXM.
21. Semenov A.A. Razrabotka metoda sravneniya dvuh mnogomernykh vektorov v real'nom vremeni na osnove mivarnykh ekspertnykh sistem [Development of a method for comparing two multidimensional vectors in real time based on mivar expert systems]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intelligence], 2020, no. 2 (17), pp. 94-109, EDN: FXAOKP.
  22. Semenov A.A. Issledovanie sposobov podbora reklamnykh kampanij na osnove sravneniya mnogomernykh vektorov [Research on methods for selecting advertising campaigns based on comparison of multidimensional vectors]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intelligence], 2020, no. 1 (16), pp. 89-104, EDN: UEBEPL.
  23. Sintsov M.Yu., Ozerin A.Yu., Kuzin A.A. and others. O razvitiy mivarnogo podhoda k intellektual'nomu raspoznavaniyu obrazov dlya raboty s trekhmernymi ob"ektami [On the development of the mivar approach to intelligent pattern recognition for working with three-dimensional objects]. *Radiopromyshlennost'* [Radio industry], 2015, no. 3, pp. 172-183, EDN: UQEPOZ.
  24. Waterman D. *Rukovodstvo po ekspertnym sistemam* [Guide to expert systems]. M., Mir, 1989, 388 p.
  25. Townsend K., Focht D. *Proektirovanie i programmnaya realizaciya ekspertnykh sistem na personal'nykh EVM* [Design and software implementation of expert systems on personal computers]. M., *Finansy i statistika* [Finance and Statistics], 1990, 320 p.
  26. Giarratano D., Riley G. *Ekspertnye sistemy: principy razrabotki i programmirovaniya* [Expert systems: principles of development and programming]. Moscow, Williams, 2007, 1152 pp., EDN: QMQTDD.
  27. Giarratano J.C., Riley G.D. *Expert systems: principles and programming*, 4-th edition. Course Technology, 2004.
  28. Luger F. G. *Artificial Intelligence: Structure and Strategies for complex problem solving*. Boston, Pearson, 2009.
  29. Popov E.V. *Iskusstvennyj intellekt: ekspertnye sistemy* [Artificial intelligence: expert systems]. M., Nauka [Science], 1990.
  30. *Ekspertnye sistemy. Bazy znaniy i dannyh. Materialy seminarov* [Expert systems. Knowledge and data bases]. Seminar materials. M., TsRDZh, 1992, 171 p.
  31. Kirsanov B.S., Popov E.V. *Otechestvennyye obolochki ekspertnykh sistem. Spravochnik po iskusstvennomu intellektu* [Domestic shells of expert systems. Handbook of artificial intelligence]. M., *Radio i svyaz'* [Radio and communication], 1990, vol. 1, pp. 369-388.
  32. Popov E.V., Fominykh I.B., Kisel E.B., Shapot M.D. *Statisticheskie i dinamicheskie ekspertnye sistemy* [Statistical and dynamic expert systems]. M., *Finansy i statistika* [Finance and Statistics], 1996.
  33. Yashin A.M. *Razrabotka ekspertnykh sistem* [Development of expert systems]. L., LPI, 1990.
  34. Popov E.V., Pospelov D.A. *Spravochnik po iskusstvennomu intellektu v 3-h t.* [Handbook of artificial intelligence in 3 volumes]. M., *Radio i svyaz'* [Radio and communication], 1990.
  35. Theize A., Gribomon P., Louis J. [et al.] *Logicheskij podhod k iskusstvennomu intellektu: ot klassicheskoy logiki k logicheskomu programmirovaniyu* [Logical approach to artificial intelligence: from classical logic to logic programming]. M., Mir, 1990, 432 p.
  36. Chandru V., Hooker J. *Optimization Methods for Logical Inference*, New York, Wiley, 1999.
  37. Russel S. J., Norvig P. *Artificial Intelligence: a Modern Approach* (3rd ed.). Boston, Pearson, 2010.
  38. Sadik A. R., Urban B. An ontology-based approach to enable knowledge representation and reasoning. *Future Internet*, 9(4), 90, 2017.
  39. Forgy Ch. A network match routine for production systems. Working Paper, 1974.
  40. Forgy Ch. On the efficient implementation of production systems. Ph. D. Thesis. Carnegie-Mellon University, 1979.
  41. Forgy Ch. Rete: A fast algorithm for the many pattern/many object pattern match problem. *Artificial Intelligence*, 1982, 19, pp. 17-37.
  42. Kotov V. E. *Seti Petri* [Petri nets]. M., Nauka [Science], 1984. 160 p.
  43. Peterson J. *Teoriya setej Petri i modelirovanie sistem* [Theory of Petri nets and modeling of systems]. M., 1984, 264 p.
  44. Arshinsky L.V. *Mnogoznachnyye logiki s vektornoj semantikoj* [Multi-valued logics with vector semantics]. East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Irkutsk, 2003, 46 p., Deposit in VINITI 02/13/2003, no. 281-B2003, EDN: QJBXBJ.
  45. Arshinsky L.V. *Interval'noe ocenivanie istinnosti v sistemah avtomatizirovannykh rassuzhdenij na osnove VTF-logik* [Interval truth estimation in automated reasoning systems based on VTF logics]. IV mezhdunarodnaya konferentsiya «Identifikatsiya sistem i zadachi upravleniya» SICPRO'05: trudy. Moskva. IPU RAN im. V.A. Trapeznikova [IV International Conference "System Identification and Control Problems" SICPRO'05: proceedings. Moscow. IPU RAS named after. V.A. Trapeznikova], 2005, pp. 1061-1074.

46. Arshinsky L.V. Organizaciya znaniy v sisteme modelirovaniya pravdopodobnyh rassuzhdenij «Geraklit» [Organization of knowledge in the system for modeling plausible reasoning “Heraclitus”]. XVII Baykal'skaya Vserossiyskaya konferentsiya «Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii»: trudy. T. 3. Irkutsk. ISEM SO RAN [XVII Baikal All-Russian Conference “Information and mathematical technologies in science and management”: proceedings. T. 3. Irkutsk. ISEM SB RAS], 2012, pp. 19-25.
47. Arshinsky L.V. Osobennosti raboty mashiny vyvoda sistemy modelirovaniya pravdopodobnyh rassuzhdenij "Geraklit" [Features of the operation of the inference engine of the system for modeling plausible reasoning "Heraclitus"]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management], 2016, no. 2, pp. 18-29, EDN WZBLJV.
48. Varlamov O. MIVAR: Transition from productions to bipartite graphs MIVAR nets and practical realization of automated constructor of algorithms handling more than three million production rules. Arxiv.org: arXiv preprint arXiv:1111.1321, available at: <https://arxiv.org/abs/1111.1321>., 23 p., 2011.
49. Varlamov O.O. Khadiev A.M., Chibirova M.O., Sergushin G.S., Antonov P.D. Avtomatizirovannoe postroenie marshruta logicheskogo vyvoda v mivarnoj baze znaniy [Automated construction of a logical inference route in a mivar knowledge base]. Patent for invention RUS 2607995 02/11/2015, published 01/11/2017, bulletin, no. 2, 43 p.
50. Mivar'23: Sbornik statey [Mivar'23: Collection of articles]. M. "Infra-M", 2023, 598 p., EDN: NXALJA

**Varlamov Oleg Olegovich.** Professor, Doctor of technical sciences, BMSTU, professor of the department of Information processing and management systems (IU5). Scientific director of the Research initiative (SRI) MIVAR at the department of IU5 at BMSTU. The author's main areas of research: complex artificial intelligence systems, cybernetics, computer science, mivar technologies of logical artificial intelligence, knowledge bases, expert systems, decision support systems, understanding texts in Russian, understanding images, decision-making systems for autonomous robotic systems. AuthorID: 143177, SPIN: 7983-9762, Google Scholar: kDy5GlMAAAAJ, ORCID: 0000-0002-2858-1383, Scopus: 57195354995, ResearcherID: U-4856-2017, ovar@yandex.ru; ovarlamov@gmail.com, 105005, Moscow, 2nd Bauman'skaya st., 5, building 1.

Статья поступила в редакцию 31.07.2023; одобрена после рецензирования 04.08.2023; принята к публикации 15.12.2023.

The article was submitted 07/31/2023; approved after reviewing 08/04/2023; accepted for publication 12/15/2023.