

Применение миварных технологий логического искусственного интеллекта для создания умных производственных систем

Варламов Олег Олегович

МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИИ МИВАР,

Россия, Москва, *ovar@yandex.ru*

Аннотация. Опыт научных исследований и практических работ показал, что в области умных производственных систем возможно и целесообразно создание миварных экспертных систем (МЭС) для повышения интеллектуализации принятия решений и обработки информации. Это позволяет повысить качество производимой продукции и перейти на новый уровень создания автоматизированных систем управления производственными системами. Для создания полноценных МЭС в области умных производственных систем необходимо провести разноплановую научную и практическую работу, причем силами людей разных специальностей, которые должны быть объединены в единый коллектив. Эволюционное развитие каждой миварной экспертной системы умных производственных систем обеспечивается тем, что МЭС обладает свойством эволюционности и в любой момент времени может быть добавлено, изменено или удалено любое правило. Это многократно проверено в ходе выполнения групповых научных проектов, когда эволюционно добавлялись новые правила по добавляемым процессам принятия решений и обработки информации для различных производственных систем.

Ключевые слова: мивар, искусственный интеллект, миварные экспертные системы, машиностроение, интеллектуализация принятия решений и обработки информации, умные производственные системы, MOGAN, MIPRA, КЭСМИ, Wi!Mi, Разуматор, Большие Знания, роботы, моделирование, обучение, машиностроительный ИИ

Цитирование: Варламов О.О. Применение миварных технологий логического искусственного интеллекта для создания умных производственных систем / О.О. Варламов // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2025. – № 2(38). – С. 32-46. – DOI:10.25729/ESI.2025.38.2.003.

Введение. В настоящее время в машиностроении важной темой является применение технологий искусственного интеллекта (ИИ) для создания умных производственных систем. Миварные технологии [1] логического искусственного интеллекта [2] активно развиваются с 2002 года, когда был предложен алгоритм логического вывода линейной вычислительной сложности [3]. Подчеркнем, что в РИНЦ по миварным технологиям ИИ размещено уже более тысячи научных публикаций. В международных англоязычных журналах уровня Q1/Q2 также опубликованы статьи по созданию миварных экспертных систем (МЭС), например, о конструкторе МЭС «КЭСМИ Wi!Mi Разуматор» [4], о применении МЭС для беспилотного транспорта [5] и в качестве систем принятия решений (СПР) – «мозгов для автономных роботов» [6], а также для решения задач STRIPS-программирования и сложного планирования действий роботов MIPRA [7].

Для научной области «Умные производственные системы» важно отметить, что миварные технологии применяют для моделирования сложных систем управления технологическими процессами [8] с возможностью распараллеливания алгоритмов в научно-технических и вычислительных задачах [9], для сравнения многомерных векторов [10] и для практического применения в АСУ и экспертных системах реального времени [11]. На данный момент важно отметить, что задачи распознавания изображений и понимания образов [12], а также семантического обнаружения объектов [13] успешно решаются на основе миварных экспертных систем, так же, как и для планирования траектории робота и создания систем принятия решений "РОБО!РАЗУМ" групп автономных роботов, комбайнов, тракторов и т.п. [14]. Для области умных производственных систем наиболее важное значение имеет опыт применения миварных технологий в робототехнике. Исследования по применению технологий искусственного интеллекта для умных производственных систем целесообразно

проводить в рамках создания Больших Знаний и расширения областей внедрения миварных технологий ИИ [15]. «Большие Знания» [15] – это объединение и синтез разнородных баз знаний, что обеспечивает качественный переход и предоставляет большие возможности для создания систем ИИ [15], включая и Умные производственные системы.

Напомним [15], что главное преимущество МЭС состоит в кардинальном снижении вычислительной сложности логического вывода и/или автоматического построения алгоритмов с $N!$ до линейной (N) (относительно количества правил «Если, То») и расширение базовых продукций формата «Если, То» от 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) [15]. Изначально область ИИ [16] занималась автоматизацией разумной [17] деятельности человека [18]. Логический вывод и экспертные системы были основой «второй волны ИИ» в 80-90 годы прошлого века [18]. Термин «базы знаний» появился тогда же и широко использовался в области ИИ [18]. База знаний (БЗ) – основа систем логического ИИ, как одного из классов интеллектуальных систем [19], где знания описаны на некотором языке представления знаний [15, 20]. Напомним [21], что традиционные [22] экспертные системы [23, 24] (ЭС) как самостоятельное научное направление [25] сформировалось [26] в конце 1970 гг. [27]. Этап активного развития ЭС в СССР [28, 29] пришелся на 1980-1990 годы [30, 31]. В области ЭС были исследования [32] по оптимизации [33] логического вывода и различного представления знаний [34], например, в виде онтологий [35]. Также, были проведены работы по альтернативным [36] средствам ускорения вывода в продукционных [37] ЭС на основе Rete-сетей [38]. Отдельным направлением стали попытки ускорить работу ЭС на основе сетей Петри [39], которые применялись для моделирования систем [40]. Отметим, что и в России [41] применяли подобные алгоритму Rete способы причинно-следственного упорядочивания [42] и организации знаний [43] для правдоподобных [44] рассуждений [15]. Кроме того, существуют научные наработки по созданию миварных баз знаний (МБЗ) [45] с их успешными примерами реализации [46] в различных сферах ИИ [47], включая и планирование ресурсов цеха [48], а также умные [49] производственные системы [50] и многое другое [51]. Следовательно, тематика данного исследования актуальна и имеет большое практическое значение для области «Умные производственные системы» (УмПС).

Рекомендации по применению МЭС для УмПС. Рассмотрим опыт внедрения технологий ИИ для создания различных УмПС. Успешным получился опыт, когда аналитики и разработчики выполняют совместно «Групповой Проект» (ГП) по проектированию и реализации УмПС с использованием технологий искусственного интеллекта, включающих миварные и нейронные сети. В аналитической работе ГП должна быть обязательно описана Производственная Система (ПС). В состав группы рекомендуется включать до пяти исполнителей с различными компетенциями и ролями. Наш опыт показал, что для успешного выполнения ГП должны быть выполнены следующие три этапа:

- Анализируется и описывается некоторая производственная система.
- Анализируется и описывается автоматизированная система управления (АСУ) данной ПС, выделяются в явном виде датчики приема информации и акторы, оказывающие влияние на функционирование ПС.
- Предлагается интеллектуализация АСУ ПС с помощью создания миварной экспертной системы для подготовки, выработки, поддержки принятия и автономного принятия управленческих решений.

Важно отметить, что системы искусственного интеллекта для ПС обладают двумя признаками:

- автоматическое построение алгоритмов принятия решений на основе правил в базе знаний в различных ситуациях (отсутствие «жестких» и заранее написанных алгоритмов) – еще это называют «решение творческих задач»;
- обучение или самообучение, т.е. возможность получения новых объектов предметной области и правил принятия решений в процессе функционирования и без дополнительного переучивания и настройки.

Интеллектуализация АСУ. Процесс интеллектуализации АСУ может включать следующие этапы:

1. Миварная система поддержки принятия решений (МСППР) для человека-оператора АСУ ПС, которая разрабатывается и реализуется в дополнение к существующей АСУ ПС, но не взаимодействует с ней. Такая МСППР является автономной системой и взаимодействует только с человеком-оператором, который вводит в нее все необходимые данные, активирует процесс поиска алгоритма решения и затем выполняет самостоятельно этот алгоритм на АСУ ПС.

2. Миварная система принятия решений (МСПР) для помощи человеку-оператору АСУ ПС, но уже с возможностью по специальному регламенту получения данных из АСУ ПС и выдачи управленческих воздействий в АСУ ПС в тех случаях, когда человек не реагирует на сигналы АСУ ПС. МСПР является развитием МСППР из предыдущего пункта и может помогать человеку-оператору в определенных случаях.

3. Автономная Миварная система принятия решений (АМСПР), которая без человека-оператора получает данные из АСУ ПС, формирует требуемые алгоритмы принятия решений и затем выдает управленческие воздействия на АСУ ПС. Человек-оператор может контролировать такую АМСПР, которая в обычном режиме будет функционировать без человека (полноценный «автопилот»).

Рекомендуется в качестве цели Группового проекта формулировать «интеллектуализацию АСУ ПС».

Особо отметим, что в тех случаях, *когда АСУ еще не существует*, то можно начинать с создания автоматизированной системы управления с одновременным переходом к ее интеллектуализации в плане выработки и принятия управленческих решений на основе систем ИИ с применением миварных и нейронных сетей. Возможно простое *создание МЭС для последующего обучения и тестирования работников предприятия*, если АСУ не создана.

Рекомендуется формулировать и решать следующие задачи ГП:

1. Анализ предметной области выбранной производственной системы.
2. Формализованное описание процесса управления производственной системой в формализме правил «Если, То» или «Вход; Действие; Выход» с явным перечислением всех основных объектов, а также с выделением системы технического зрения (включая и зрение человека в определенных случаях) в виде датчиков получения данных и выделением всех акторов, которые оказывают воздействие на ПС (например: вентили, запорные краны, изменение маршрутов заготовок, деталей и т.п.).
3. Разработка миварной базы знаний (МБЗ) для интеллектуализации АСУ ПС.
4. Создание миварной экспертной системы (МЭС) для поддержки принятия решений человеком-оператором в АСУ ПС.
5. Проведение тестирования МЭС для АСУ ПС и подготовка отчета об экспериментальных исследованиях и достижения цели работы.

Для создания МЭС необходимо разработать МБЗ. Групповой Проект может завершаться на теоретическом этапе разработки миварной базы знаний – МБЗ. Важно отметить, что для тестирования МБЗ необходимо подготовить заранее с помощью экспертов по предметной

области, как минимум, три различных тестовых сценария – примеров подготовки и принятия решений для конкретной ПС. Например, один сценарий «нормальной работы», а два других сценария – для аварийных или нестандартных режимов работы производственной системы.

Критериями достижения цели создания МЭС могут быть следующие:

- Сокращение времени подготовки и принятия управленческих решений.
- Повышение надежности работы ПС за счет недопущения ошибок из-за «человеческого фактора».
- Повышение качества продукции ПС за счет недопущения брака и отклонений из-за «человеческого фактора».
- Снижение себестоимости продукции за счет сокращения количества людей-операторов.
- Снижение себестоимости продукции за счет увеличения времени работы ПС.

Научная составляющая исследования и перспективы МЭС для УмПС. Для создания таких МЭС необходимо выполнить и разработать:

- 1) анализ УмПС, особенности принятия решений и обработки информации;
- 2) формализованное описание УмПС;
- 3) табличное представление миварной модели описания принятия решений и обработки информации в формализме двудольных ориентированных графов;
- 4) алгоритмы принятия решений и обработки информации в предметной области;
- 5) миварную сеть в специальном математическом обеспечении (например, в КЭСМИ Wi!Mi Разуматоре версии 2.1);
- 6) тестирование миварных моделей УмПС;
- 7) эволюционное развитие МЭС для УмПС.

Отметим, что для выполнения всех подобных научных исследований необходима команда различных специалистов, включающая, как минимум:

- 1) экспертов по предметной области (например, промышленного объекта по производству колесных дисков),
- 2) когнитологов (инженеров по знаниям), которые будут создавать «Знания» в виде текстового формализованного описания предметной области;
- 3) аналитиков, которые будут создавать «Знания» в виде миварных сетей на основе формализованного описания УмПС, а также загружать их в КЭСМИ;
- 4) программистов;
- 5) тестировщиков.

Таким образом, получаем, что для создания МЭС в области умных производственных систем необходимо провести разноплановую научную и практическую работу, причем силами людей разных специальностей, которые должны быть объединены в коллектив.

Результаты создания макетов МЭС для разных УмПС. За осень 2024 года и начало 2025 года успешно подготовлены несколько десятков макетов МБЗ или МЭС для различных применений по созданию Умных ПС. Приведем перечень некоторых выполненных групповых проектов и созданных макетов программного обеспечения.

Прежде всего, были созданы макеты миварных баз знаний для следующих УмПС:

- МБЗ для контроля и предотвращения брака при производстве сварных труб.
- МБЗ для механической фильтрации технологических жидкостей.
- МБЗ для производственных систем угольного производства.
- МБЗ для процесса производства обуви.
- МБЗ для распределения желатиновых капсул для лекарственных препаратов в подходящие комнаты хранения.

- МБЗ для системы производства углерода из воздуха.
- МБЗ для управления бетонным узлом (Вьетнам).
- МБЗ для шампанизации непрерывном методом.
- МБЗ по подбору датчиков давления.

Другие групповые проекты завершились созданием не только МБЗ, но и реализацией такой базы знаний в МЭС в программном комплексе КЭСМИ Wi!Mi Разуматор, версия 2.1:

- МЭС диагностики и предиктивного обслуживания оборудования на производстве картона.
- МЭС для автоматизации выбора частотного преобразователя.
- МЭС для автоматизации и оптимизации процесса форсированного испытания блоков питания.
- МЭС для анализа ошибок производства материнских плат.
- МЭС для генерации маршрутной карты.
- МЭС для диагностики бактериальной устойчивости к антибиотикам.
- МЭС для информационно-аналитической системы обследования целостности сооружений.
- МЭС для контроля и предотвращения брака при производстве керамической плитки.
- МЭС для контроля конфигурации вафельной печи.
- МЭС для контроля технической документации.
- МЭС для поддержки принятия решений инженеров КИИПиА на линии производства поршня двигателя внутреннего сгорания.
- МЭС для поддержки принятия решений персонала газового завода (Венесуэла).
- МЭС для поддержки принятия решений персонала газоперерабатывающего цеха при добыче жидкой серы.
- МЭС для поддержки принятия решений персонала завода по производству рельс.
- МЭС для поддержки принятия решений персонала завода производства стеклянных бутылок.
- МЭС для поддержки принятия решений персонала завода производства бетонных блоков.
- МЭС для поддержки принятия решений персонала механообрабатывающего завода.
- МЭС для поддержки принятия решений персонала мясокомбината.
- МЭС для поддержки принятия решений персонала установки подачи и хранения азота.
- МЭС для поддержки принятия решения персонала на производстве планетарно-цевочных редукторов.
- МЭС для поддержки принятия решения персонала на производстве светодиодов.
- МЭС для производства газированных напитков.
- МЭС для производства колесных дисков.
- МЭС для работы с фрезерным станком ЧПУ.
- МЭС определения условий хранения для среднегабаритных изделий.
- МЭС по подбору электродвигателя для привода цепного транспортера.
- МЭС подбора конвейера.
- МЭС УмПС разведения и подбора породы собак для владельцев без опыта.
- МЭС подбора режущего инструмента.
- МЭС подбора станка для обработки заготовки.
- МЭС поддержки принятия решений о способе устранения отказов токарного станка.

- МЭС производства фасадных панелей.
- МЭС технического обслуживания и ремонта производственного оборудования.

Отдельно отметим совместное комплексное применение миварных и нейронных сетей для создания УмПС в следующих проектах:

- МЭС для сортировки фруктов.
- МЭС для выявления дефектов на производстве ПЭТ бутылок.
- МЭС контроля деятельности сотрудника в мегалаборатории с применением цифровой симуляции и машинного зрения.
- Нахождение дефектов на производстве хлебных изделий с использованием МЭС и машинного зрения.
- МБЗ для производственной системы музеев и картинных галерей для выявления и обследования дефектов картин.
- Применение МЭС в производстве кухонного гарнитура.
- Применение МЭС в технологическом процессе переработки пластиковых отходов.

К настоящему моменту научные статьи опубликованы только для двух таких примеров выполнения проектов: Миварная экспертная система для поддержки принятия решений персонала на производстве планетарных редукторов [49] и Миварная экспертная система для подбора электродвигателя [50].

МЭС для персонала на производстве планетарных редукторов. В данной работе разработана МЭС, задача которой – наблюдение за ходом производства редукторов, поддержка принятия решений и своевременное оповещение сотрудников предприятия о наличии ошибок и отклонений [49]. Основой принятия решений служит миварная база знаний, которая получена на основе формализованного описания этапов и параметров технологического процесса производства редукторов. В этой работе обоснована целесообразность использования МЭС для автоматизации производственных процессов, связанных со сборкой редукторов, их испытаниями и хранением на складе. По сути, создана новая математическая модель таких ПС, представленная в виде таблицы модернизированных продукционных правил «Если, То, Иначе», которых разработано более 30 шт. [49].

Приведем в Таблице 1 фрагмент формализованного описания этой УмПС в виде правил «Если, То, Иначе» [49].

Таблица 1. Миварная база знаний (фрагмент)

№	Класс	Если	То	Иначе
1	Пр.р.	начат процесс производства (prod==1)	приносим детали на сборочный стол (det=1)	не приносим (det=0)
2	ПР	детали есть на сборочном столе (det==1)	переходим в состояние проверки (pr1=1)	сообщаем оператору (pr1=0)
3	КД	началась проверка (pr1==1) И количество деталей равно 23 (cnt_det==23)	не меняем состояние (kd1=1)	сообщаем оператору о нехватке деталей (kd1=0)
4	РД	началась проверка (pr1==1) И число проверенных размеров деталей равно 78 (cnt_r==78)	не меняем состояние (rd1=1)	сообщаем оператору о неправильных размерах (rd1=0)
5	ДСЗ	началась проверка (pr1==1) И есть смазочная жидкость (sm==1)	не меняем состояние (s1=1)	сообщаем оператору (s1=0)

№	Класс	Если	То	Иначе
6	C1	проверена комплектность деталей (kd1==1) И проверены размеры деталей (rd1==1)	провести сборку редуктора (sb=1)	не проводим сборку и сообщаем оператору (sb=0)
7	У	редуктор собран (sb==1) И в процессе сборки возникли отходы (waste==1)	осуществляем утилизацию (util=1)	фиксируем отсутствие отходов (util=0)

После разработки МБЗ переходят к созданию МЭС в КЭСМИ. На рисунке 1 представлены классы и параметры, а на рисунке 2 – отношения, которые задают шаблоны для правил. Тестирование созданной МЭС показано на Рисунке 3 на примере испытаний редуктора [49].

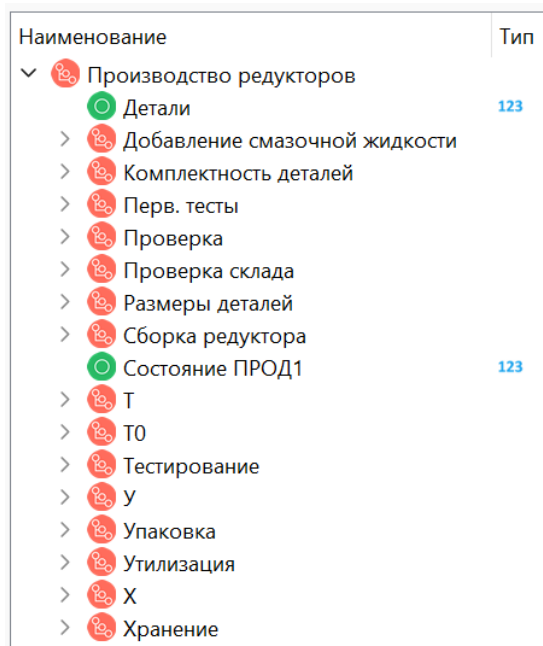


Рис. 1. Параметры и классы

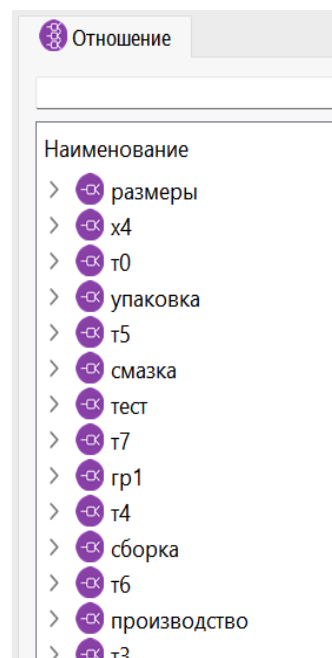


Рис. 2. Отношения

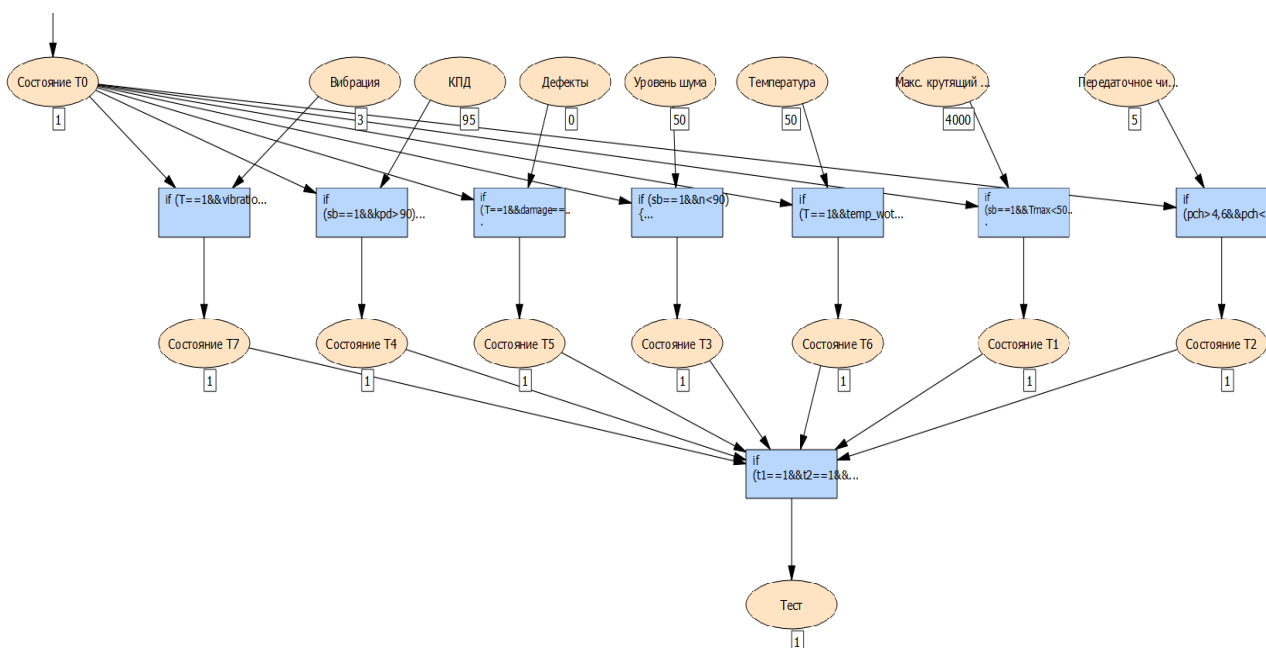


Рис. 3. Результаты тестирования этапа испытаний редукторов

Миварная экспертная система для подбора электродвигателя [50]. Электродвигатели, особенно асинхронные двигатели серии АИР, широко применяются в

различных отраслях промышленности, включая транспортные конвейеры цепного типа [50]. Движение от электродвигателя передается приводному валу через три основных передаточных механизма: редуктор, муфту и открытую передачу. Эти механизмы играют важную роль в обеспечении необходимого крутящего момента и скорости вращения, что критически важно для эффективной работы транспортера [50].

В процессе подбора конкретной модели электродвигателя вычисляются значения параметров различных элементов, входящих в состав привода, что позволяет обеспечить оптимальную работу всего устройства. Исходными данными, как правило, являются требуемые параметры движения приводного вала, такие, как скорость, крутящий момент и другие характеристики, которые необходимо учитывать для достижения наилучших результатов в эксплуатации [50].

Входными данными для МЭС являются: коэффициенты полезного действия (КПД) узлов привода, число зубцов на тяговой звездочке, шаг тяговой цепи, окружная сила на тяговой звездочке, скорость цепи транспортера и синхронная частота вращения электродвигателя [50]. Покажем пример правил предметной области [50]:

- ЕСЛИ требуемая мощность меньше 0,37 кВт и синхронная частота вращения равна 1000, ТО «наименование электродвигателя» принимает значение «71А6», «частота вращения двигателя» принимает значение 915.
- ЕСЛИ требуемая мощность меньше 0,37 кВт и синхронная частота вращения равна 1500, ТО «наименование электродвигателя» принимает значение «такого двигателя нет».

Рассмотрим тестирование МЭС на следующем примере: введенные пользователем параметры корректны и позволяют МЭС подобрать электродвигатель [50].

Входные данные:

- Шаг цепи: 40 мм.
- Скорость цепи: 0,45 м/с.
- Число зубцов: 8.
- КПД ременной передачи: 0,95.
- КПД зубчатой цилиндрической передачи: 0,97.
- КПД муфты соединительной: 0,98.
- КПД подшипников качения приводного вала: 0,99.
- КПД зубчатой волновой передачи: 1.
- КПД зубчатой конической передачи: 1.
- КПД зубчатой планетарной передачи: 1.
- КПД цепной передачи: 1.
- КПД червячной передачи: 1.
- Окружная сила на тяговой звездочке: 2750 Н.
- Синхронная частота вращения ЭД: 1500 об/мин.

На выходе МЭС выдает значения следующих параметров:

- Делительный диаметр тяговой звездочки: 104.53 мм.
- Выходная частота вращения: 82.22 об/мин.
- Выходной момент вращения: 143.72 Н×м.
- Выходная мощность: 1.24 кВт.
- Требуемая мощность: 1.38 кВт.
- Наименование электродвигателя: 80В4.
- Номинальная мощность электродвигателя: 1.5 кВт.
- Номинальная частота вращения электродвигателя: 1395 об/мин.

Таким образом, в [50] исследована возможность разработки и внедрения МЭС в процесс подбора электродвигателя для привода цепного транспортера. Эта система имеет потенциал значительно упростить этап выбора и сократить время принятия решения в области УмПС. Предложенная МЭС не только решает задачу автоматизации и ускорения подбора электродвигателя, но и открывает перспективы [51] для дальнейшего развития интеллектуальных систем в смежных областях.

Заключение. Практический опыт выполнения научных исследований показал, что в области умных производственных систем возможно и целесообразно создание МЭС для повышения интеллектуализации принятия решений и обработки информации. Это позволяет повысить качество производимой продукции и перейти на новый уровень создания автоматизированных систем управления производственными системами.

В процессе реализации 50+ таких групповых проектов успешно выполнены следующие работы для каждой МЭС: выполнен системный анализ предметной области в плане принятия решений, обработки информации и ИИ; разработано формализованное описание предметной области; создана миварная база знаний в виде табличного представления правил миварной сети описания процессов принятия решений, обработки информации; обоснован выбор традиционного для КЭСМИ Wi!Mi Разуматор версии 2.1 метода принятия решений и обработки информации; создана миварная сеть УмПС в программном комплексе КЭСМИ Wi!Mi Разуматор версии 2.1; протестированы миварные модели для различных производствах.

В ходе выполнения групповых проектов многократно создавались новые правила для миварной экспертной системы по добавляемым процессам принятия решений и обработки информации для различных производственных систем, что подтвердило на практике известный факт о том, что МЭС обладает свойством эволюционности и в любой момент времени в ходе работы может быть добавлено, изменено или удалено любое правило.

Список источников

1. Варламов О.О. Миварные технологии как некоторые направления искусственного интеллекта / О.О. Варламов // Проблемы искусственного интеллекта, 2015. – № 1(1). – С. 23-37. – EDN WDNPJZ.
2. Варламов О.О. Автоматизация умственной деятельности людей через логический искусственный интеллект как фундаментальный механизм развития или гибели человечества интеллекта / О.О. Варламов // Проблемы искусственного интеллекта. 2017. – № 3(6). – С. 23-31. – EDN YNTRSV.
3. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство / О.О. Варламов. – М.: «Радио и связь», 2002. – 286 с. – EDN RWTCOP.
4. 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, DOI: 10.15866/ireaco.v11i6.15855, EDN UNUCC.
5. 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, DOI: 10.1155/2017/2492765, EDN XNTRKD.
6. 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, DOI: 10.1016/j.bdr.2021.100241, EDN HRYLWL.
7. Varlamov O., Aladin D. A New generation of rules-based approach: Mivar-based Intelligent Planning of Robot Actions (MIPRA) and brains for autonomous robots. Machine intelligence research, 2024, vol. 21, no. 5, pp. 919-940, DOI: 10.1007/s11633-023-1473-1, EDN TSPUOP.
8. Сергушин Г.С. Исследование возможностей информационного моделирования сложных систем управления технологическими процессами на основе миварных технологий / Г.С. Сергушин, О.О. Варламов, М.О. Чибирова и др. // Автоматизация и управление в технических системах, 2013. – № 2(4). – С. 51-66. – EDN RDWXUT.
9. Владимиров А.Н. Применение многопроцессорного вычислительного кластера НИИР для распараллеливания алгоритмов в научно-технических и вычислительных задачах / А.Н. Владимиров, О.О. Варламов, А.В. Носов и др. // Труды НИИ Радио, 2009. – № 3. – С. 120-123. – EDN KYNLNN.

10. Семенов А.А. Исследование способов подбора рекламных кампаний на основе сравнения многомерных векторов / А.А. Семенов, О.О. Варламов // Проблемы искусственного интеллекта, 2020. – № 1(16). – С. 89-104. – EDN UEBEPL.
11. Варламов О.О. Миварный метод логико-вычислительной обработки информации для АСУ, тренажеров, экспертных систем реального времени и архитектур, ориентированных на сервисы / О.О. Варламов, Р.А. Санду, А.Н. Владимиров и др. // Искусственный интеллект, 2010. – № 4. – С. 558-565. – EDN TIFHLT.
12. Мащенко Е.И. Создание миварной экспертной системы для понимания образов и принятия решений при обнаружении падений людей / Е.И. Мащенко, Д.К. Карпов, О.О. Варламов и др. // Проблемы искусственного интеллекта, 2024. – № 4(35). – С. 88-100. – DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-88-100. – EDN FGLHZZ.
13. Шэнь Ц. Динамическое планирование траектории робота на основе семантического обнаружения объектов с использованием миварной экспертной системы / Ц. Шэнь, Ш. Гун, О.О. Варламов и др. // Проблемы искусственного интеллекта, 2024. – № 4(35). – С. 164-176. – DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-164-176. – EDN DHVOFC.
14. Варламов О.О. О создании на основе миварных систем принятия решений "РОБО!РАЗУМ" групп автономных комбайнов и тракторов для сельского хозяйства / О.О. Варламов // Проблемы искусственного интеллекта, 2019. – № 2(13). – С. 49-62. – EDN AMUYCK.
15. 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. – EDN TNBEWN.
16. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е изд. / Дж.Ф. Люгер. – М.: Вильямс, 2005. – 864 с.
17. Ростовцев Ю.Г. Математические методы и модели оценивания военно-политической обстановки / Ю.Г. Ростовцев. – МО СССР, 1986. – 312 с.
18. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – Санкт-Петербург: Питер, 2000. – 384 с. – EDN TGWANT.
19. Остроух А.В. Введение в искусственный интеллект / А.В. Остроух // Красноярск: Научно-инновационный центр, 2020. – 250 с.
20. Остроух А.В. Интеллектуальные системы / А.В. Остроух // Красноярск: Научно-инновационный центр, 2020. – 316 с.
21. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам / Д. Уотермен. – М.: Мир, 1989. – 388 с.
22. Таунсенд К. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ / К. Таунсенд, Д. Фохт. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 320 с.
23. Джарратано Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. 4-е изд.: Пер с англ. / Д. Джарратано, Г. Райли. – Москва. Вильямс, 2007. – 1152 с. – EDN QMQTDD.
24. Giarratano J.C., Riley G.D. Expert systems: principles and programming, 4-th edition. Course Technology, 2004.
25. Luger F.G. Artificial Intelligence: Structure and Strategies for complex problem solving. Boston: Pearson, 2009.
26. Попов Э.В. Искусственный интеллект: экспертные системы / Э.В. Попов. – М.: Наука, 1990.
27. Экспертные системы. Базы знаний и данных. Материалы семинара // Под рук. Э.В. Попова. – М.: ЦРДЖ, 1992. – 171 с.
28. 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.
29. Попов Э.В. Статистические и динамические экспертные системы / Э.В. Попов, И.Б. Фоминых, Е.Б. Кисель и др. – М.: Финансы и статистика, 1996.
30. Яшин А.М. Разработка экспертных систем / А.М. Яшин. – Л.: ЛПИ, 1990.
31. Справочник по искусственному интеллекту в 3-х т. // Под ред. Э.В. Попова, Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990.
32. 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.
33. Chandru V., Hooker J. Optimization methods for logical inference. New York: Wiley, 1999.
34. Russel S. J., Norvig P. Artificial Intelligence: a Modern Approach (3rd ed.). Boston: Pearson, 2010.
35. Sadik A.R., Urban B. An ontology-based approach to enable knowledge representation and reasoning. Future Internet, 2017, vol. 9(4), 90, DOI: 10.3390/fi9040090.
36. Forgy Ch. A network match routine for production systems. Working Paper, 1974.
37. Forgy Ch. On the efficient implementation of production systems. Ph. D. Thesis, Carnegie-Mellon University, 1979.

38. Forgy Ch. Rete: A fast algorithm for the many pattern/many object pattern match problem. *Artificial Intelligence*, 1982, 19, pp. 17-37.
39. Котов В.Е. Сети Петри / В.Е. Котов. – М: Наука, 1984. – 160 с.
40. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М.:, 1984. – 264с.
41. 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-В2003. – EDN: QJVBXBJ.
42. 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.
43. 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.
44. 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.
45. Chuvikov D. A., Aladin D.V., Adamova L.E. et al. A new method for creating Mivar knowledge bases in tabular-matrix form for ground intelligent vehicle control systems. *Journal of Physics: Conference series: International conference on actual issues of mechanical engineering*, 2021, 012123 p., DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012123. EDN SLARYS.
46. Торжков М.С. Создание миварной экспертной системы для выполнения этических аспектов искусственного интеллекта для скоринга кредитования / М.С. Торжков, Ю.П. Королева, А.В. Балдин и др. // Проблемы искусственного интеллекта, 2024. – № 4(35). – С. 139-150. – DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-139-150. – EDN ВНОQXX.
47. Подопригорова Н.С. Разработка миварной экспертной системы для выбора алгоритма консенсуса распределённых реестров / Н.С. Подопригорова, С.А. Козырев, С.С. Подопригорова и др. // Проблемы искусственного интеллекта, 2024. – № 4(35). – С. 126-138. – DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-126-138. – EDN AVXOTO.
48. Варламов О.О. Разработка миварной экспертной системы для планирования ресурсов цеха и анализа отклонений / О.О. Варламов., С. Чжан, А.В. Балдин и др. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 2024. – Т. 12. – № 3(46). – DOI: 10.26102/2310-6018/2024.46.3.017. – EDN LLQDAT.
49. Антонова А.А. Миварная экспертная система для поддержки принятия решений персонала на производстве планетарных редукторов / А.А. Антонова, О.О. Варламов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. – Т. 13. – № 1(48). – DOI 10.26102/2310-6018/2025.48.1.042. – EDN UHOLXM.
50. Редько А.В. Миварная экспертная система для подбора электродвигателя / А.В. Редько, И.С. Тришкин, О.О. Варламов и др. // Системы управления и информационные технологии, 2025. – № 1(99). – С. 94-99. – EDN CNPDCU.
51. МИВАР'24: Сборник научных статей, Москва, 18–20 апреля 2024 года. Москва: ИНФРА-М, 2024. – 571 с. – EDN GIQZMD.

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 kDy5GIMAAAAJ, ORCID: 0000-0002-2858-1383, Scopus: 57195354995, ResearcherID: U-4856-2017, ovar@yandex.ru; ovarlatov@gmail.com, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, кафедра ИУ5.

Application of mivar technologies of logical artificial intelligence for creation of smart manufacturing systems

Oleg O. Varlamov

BMSTU, SI MIVAR,

Russia, Moscow, *ovar@yandex.ru*

Abstract. The experience of scientific research and practical work has shown that in the field of smart manufacturing systems it is possible and advisable to create mivar expert systems (MES) to increase the intellectualization of decision-making and information processing. This allows to improve the quality of manufactured products and move to a new level of creation of automated control systems for manufacturing systems. To create full-fledged MES in the field of smart manufacturing systems, it is necessary to carry out diverse scientific and practical work, and by people of different specialties, who must be united into a single team. The evolutionary development of each mivar expert system of smart manufacturing systems is ensured by the fact that the MES has the property of evolution and at any time any rule can be added, changed or deleted. This has been repeatedly verified during the implementation of group scientific projects, when new rules for added decision-making and information processing processes for various production systems were evolutionarily added.

Keywords: mivar, artificial intelligence, mivar expert systems, mechanical engineering, intellectualization of decision-making and information processing, smart production systems, MOGAN, MIPRA, Wi!Mi, Razumator, Big Knowledge, robots, modeling, training, mechanical engineering AI

References

1. Varlamov O.O. Mivarnyye tekhnologii kak nekotoryye napravleniya iskusstvennogo intellekta [Mivar technologies as some directions of artificial intelligence]. Problemy iskusstvennogo intellekta [Problems of artificial intelligence], 2015, no. 1(1), pp. 23-37, EDN WDNPGZ.
2. Varlamov O.O. Avtomatizatsiya umstvennoy deyatel'nosti lyudey cherez logicheskiy iskusstvennyy intellekt kak fundamental'nyy mekhanizm razvitiya ili gibeli chelovechestva [Automation of mental activity of people through logical artificial intelligence as a fundamental mechanism for the development or death of mankind]. Problemy iskusstvennogo intellekta [Problems of artificial intelligence], 2017, no. 3(6), pp. 23-31, EDN YNTRSV.
3. 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" [M.: Radio and communication], 2002, 288 p., EDN RWTCOP.
4. 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, DOI: 10.15866/ireaco.v11i6.15855, EDN UNUCCC.
5. 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, DOI: 10.1155/2017/2492765, EDN XNTRKD.
6. 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, DOI: 10.1016/j.bdr.2021.100241, EDN HRYLWL.
7. Varlamov O., Aladin D. A New generation of rules-based approach: Mivar-based Intelligent Planning of Robot Actions (MIPRA) and brains for autonomous robots. Machine intelligence research, 2024, vol. 21, no. 5, pp. 919-940, DOI 10.1007/s11633-023-1473-1, EDN TSPUOP.
8. Sergushin G.S., Varlamov O.O., Chibirova M.O. et al. Issledovaniye vozmozhnostey informatsionnogo modelirovaniya slozhnykh sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami na osnove mivarnykh tekhnologii [Study of the possibilities of information modeling of complex control systems of technological processes based on mivar technologies]. Avtomatizatsiya i upravleniye v tekhnicheskikh sistemakh [Automation and control in technical systems], 2013, no. 2(4), pp. 51-66, EDN RDWXUT.
9. Vladimirov A.N., Varlamov O.O., Nosov A.V. et al. Primeneniye mnogoprotsessornogo vychislitel'nogo klastera NIIR dlya rasparallelivaniya algoritmov v nauchno-tekhnicheskikh i vychislitel'nykh zadachakh [Application of the NIIR multiprocessor computing cluster for parallelization of algorithms in scientific, technical and computational problems]. Trudy NII Radio [Proceedings of the Research Institute of Radio], 2009, no.3, pp. 120-123, EDN KYNLNN.

10. Semenov A.A., Varlamov O.O. 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
11. Varlamov O.O., Sandu R.A., Vladimirov A.N. et al. Mivarnyy metod logiko-vychislitel'noy obrabotki informatsii dlya ASU, trenazherov, ekspertnykh sistem real'nogo vremeni i arkhitektur, oriyentirovannykh na servisy [Mivar method of logical-computational information processing for automated control systems, simulators, real-time expert systems and service-oriented architectures]. Iskusstvennyy intellekt [Artificial Intelligence], 2010, no. 4, pp. 558-565, EDN TIFHLT.
12. Mashchenko E.I., Karpov D.K., Varlamov O.O. et al. Sozdaniye mivarnoy ekspertnoy sistemy dlya ponimaniya obrazov i prinyatiya resheniy pri obnaruzhenii padeniy lyudey [Creation of a mivar expert system for understanding images and making decisions when detecting people falling]. Problemy iskusstvennogo intellekta [Problems of artificial intelligence], 2024, no. 4 (35), pp. 88-100, DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-88-100, EDN FGLHZZ.
13. Shen Q., Gong Sh., Varlamov O.O. et al. Dinamicheskoye planirovaniye trayektorii robota na osnove semanticheskogo obnaruzheniya ob"yektov s ispol'zovaniyem mivarnoy ekspertnoy sistemy [Dynamic robot trajectory planning based on semantic object detection using a mivar expert system]. Problemy iskusstvennogo intellekta [Problems of artificial intelligence], 2024, no. 4(35), pp. 164-176, DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-164-176, EDN DHVOFC.
14. Varlamov O.O. O sozdanii na osnove mivarnykh sistem prinyatiya resheniy "ROBO!RAZUM" grupp avtonomnykh kombaynov i traktorov dlya sel'skogo khozyaystva [On the creation of autonomous combine harvesters and tractors for agriculture based on mivar decision-making systems "ROBO!MIND"]. Problemy iskusstvennogo intellekta [Problems of artificial intelligence], 2019, no. 2(13), pp. 49-62, EDN AMUYCK.
15. Varlamov O. O. Sozdaniye Bol'shikh Znaniy i rasshireniye oblastey primeneniya mivarnykh tekhnologiy logicheskogo iskusstvennogo intellekta [Creation of Great Knowledge and expansion of the areas of application of mivar technologies of logical artificial intelligence]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management], 2023, no. 4(32), pp. 30-41, DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.003, EDN THBEWN.
16. Luger J.F. Iskusstvennyy intellekt: strategii i metody resheniya slozhnykh problem [Artificial Intelligence: Strategies and Methods for Solving Complex Problems]. 4th ed. M.: Vil'yams [M.: Williams], 2005, 864 p.
17. Rostovtsev Yu.G. Matematicheskie metody i modeli ocenivaniya voenno-politicheskoy obstanovki [Mathematical methods and models for assessing the military-political situation]. MO SSSR [USSR Ministry of Defense], 1986, 312 p.
18. Gavrilova T.A., Khoroshevsky V.F. Bazy znaniy intellektual'nykh sistem [Knowledge bases of intelligent systems]. Sankt-Peterburg: Piter [St. Petersburg: Peter], 2000, 384 p., EDN TGWANT.
19. Ostroukh A.V. Vvedenie v iskusstvennyy intellekt [Introduction to artificial intelligence]. Krasnoyarsk: Scientific-innovative. center, 2020, 250 p.
20. Ostroukh A.V. Intellektual'nye sistemy [Intelligent systems]. Krasnoyarsk: Nauchno-innovatsionnyy tsentr [Krasnoyarsk: Scientific and innovation center], 2020, 316 p.
21. Waterman D. Rukovodstvo po ekspertnym sistemam [Guide to expert systems]. M.: Mir [M.: Mir], 1989, 388 p.
22. Townsend K., Focht D. Proektirovaniye i programmnyaya realizatsiya ekspertnykh sistem na personal'nykh EVM [Design and software implementation of expert systems on personal computers]. M.: Finansy i statistika [M.: Finance and statistics], 1990, 320 p.
23. Giarratano D., Riley G. Ekspertnye sistemy: principy razrabotki i programmirovaniye [Expert systems: principles of development and programming]. 4th ed. M.: Vil'yams [M.: Williams], 2007, 1152 p. EDN QMQTDD.
24. Giarratano J.C., Riley G.D. Expert systems: principles and programming, 4-th edition. Course Technology, 2004.
25. Luger F.G. Artificial Intelligence: Structure and Strategies for complex problem solving. Boston: Pearson, 2009.
26. Popov E.V. Iskusstvennyy intellekt: ekspertnye sistemy [Artificial intelligence: expert systems]. M.: Nauka [M.: Nauka], 1990.
27. Ekspertnye sistemy. Bazy znaniy i dannykh. Materialy seminarov [Expert systems. Knowledge and data bases. Seminar materials]. Pod ruk. E.V. Popova, M.: TSRDZH [Under the guidance of. E.V. Popova. M.: CRJ], 1992, 171 p.
28. Kirsanov B.S., Popov E.V. Otechestvennyye obolochki ekspertnykh sistem [Domestic shells of expert systems]. Spravochnik po iskusstvennomu intellektu, M.: Radio i svyaz', [Handbook of artificial intelligence, M.: Radio and communication], 1990, vol. 1, pp. 369-388.
29. 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 [M.: Finance and statistics], 1996.

30. Yashin A.M. Razrabotka ekspertnyh sistem [Development of expert systems]. L.: LPI, 1990.
31. Spravochnik po iskusstvennomu intellektu v 3-h t. [Handbook of artificial intelligence in 3 volumes]. Ed. E.V. Popova, D.A. Pospelov. M.: Radio i svyaz' [M.: Radio and communication], 1990.
32. 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 [M.: Mir], 1990, 432 p.
33. Chandru V., Hooker J. Optimization methods for logical inference. New York: Wiley, 1999.
34. Russel S. J., Norvig P. Artificial Intelligence: a Modern Approach (3rd ed.). Boston: Pearson, 2010.
35. Sadik A.R., Urban B. An ontology-based approach to enable knowledge representation and reasoning. Future Internet, 2017, vol. 9(4), 90, DOI: 10.3390/fi9040090.
36. Forgy Ch. A network match routine for production systems. Working Paper, 1974.
37. Forgy Ch. On the efficient implementation of production systems. Ph. D. Thesis, Carnegie-Mellon University, 1979.
38. Forgy Ch. Rete: A fast algorithm for the many pattern/many object pattern match problem. Artificial Intelligence, 1982, 19, pp. 17-37.
39. Kotov V. E. Seti Petri [Petri nets]. M.: Nauka [M.: Nauka], 1984, 160 p.
40. Peterson J. Teoriya setej Petri i modelirovanie sistem [Theory of Petri nets and modeling of systems]. Moscow, 1984, 264 p.
41. Arshinsky L.V. Mnogoznachnye logiki s vektornoj semantikoj [Multi-valued logics with vector semantics]. Vostochno-Sibirskiy institut MVD Rossii. Irkutsk, 2003. 46 s. Dep v VINITI 13.02.2003, no. 281-V2003 [East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. Irkutsk, 2003. 46 p. Deposit in VINITI 02/13/2003, №281-B2003]. EDN QJBXBJ..
42. Arshinsky L.V. Interval'noe ocenivanie istinnosti v sistemah avtomatizirovannyh 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.
43. Arshinsky L.V. Organizatsiya 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. vol. 3. Irkutsk. ISEM SB RAS], 2012, pp. 19-25.
44. 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.
45. Chuvikov D. A., Aladin D.V., Adamova L.E. et al. A new method for creating Mivar knowledge bases in tabular-matrix form for ground intelligent vehicle control systems. Journal of Physics: Conference series: International conference on actual issues of mechanical engineering, 2021, 012123 p., DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012123. EDN SLARYS.
46. Torzhkov M.S., Koroleva Yu.P., Bal'din A.V. et al. Sozdaniye mivarnoy ekspertnoy sistemy dlya vypolneniya eticheskikh aspektov iskusstvennogo intellekta dlya skoringa kreditovaniya [Creation of a mivar expert system for implementing ethical aspects of artificial intelligence for credit scoring]. Problemy iskusstvennogo intellekta [Problems of artificial intelligence], 2024, no. 4(35), pp. 139-150, DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-139-150, EDN BHOQXX.
47. Podoprigrorova N.S., Kozyrev S.A., Podoprigrorova S.S. et al. Razrabotka mivarnoy ekspertnoy sistemy dlya vybora algoritma konsensusa raspredelonykh reyestrov [Development of a mivar expert system for selecting a consensus algorithm for distributed ledgers]. Problemy iskusstvennogo intellekta [Problems of artificial intelligence], 2024, no. 4(35), pp. 126-138, DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-126-138, EDN AVXOTO.
48. Varlamov O.O., Zhang S., Bal'din A.V. et al. Razrabotka mivarnoy ekspertnoy sistemy dlya planirovaniya resursov tsekha i analiza otkloneniy [Development of a mivar expert system for workshop resource planning and deviation analysis]. Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii [Modeling, optimization and information technology], 2024, vol. 12, no. 3(46). DOI: 10.26102/2310-6018/2024.46.3.017. EDN LLQDAT.
49. Antonova A.A., Varlamov O.O. Mivarnaya ekspertnaya sistema dlya podderzhki prinyatiya resheniy personala na proizvodstve planetarnykh reduktorov [Mivar expert system to support personnel decision-making in the production of planetary gearboxes]. Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii [Modeling,

optimization and information technology], 2025, vol. 13, no. 1(48), DOI: 10.26102/2310-6018/2025.48.1.042, EDN UHOLXM.

50. Redko A.V., Trishkin I.S., Varlamov O.O. et al. Mivarnaya ekspertnaya sistema dlya podbora elektrodvigatelya [Mivar expert system for electric motor selection]. *Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii* [Control systems and information technologies], 2025, no. 1(99), pp. 94-99, EDN CNPDCU.

51. MIVAR'24: Sbornik nauchnyh statej [Collection of scientific articles], Moscow, 18-20 April 2024. Moscow: INFRA-M, 2024, 571 p., EDN GIQZMD.

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: kDy5GIMAAAAJ, ORCID: 0000-0002-2858-1383, Scopus: 57195354995, ResearcherID: U-4856-2017, ovar@yandex.ru, ovarlamov@gmail.com, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya st., 5, building 1, Dep. IU5.

Статья поступила в редакцию 15.04.2025; одобрена после рецензирования 04.05.2025; принята к публикации 05.05.2025.

The article was submitted 04/15/2025; approved after reviewing 05/04/2025; accepted for publication 05/05/2025.