

О. О. Варламов^{1, 2, 3}, Д. В. Аладин^{1, 2}¹ Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия,² НИИ «МИВАР», Москва, Россия, ³ Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия

О СОЗДАНИИ МИВАРНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ ПРАВИЛ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ «РАЗУМАТОРОВ» И ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

В статье рассмотрена возможность построения системы контроля за соблюдением правил дорожного движения на базе миварных технологий. Сейчас во всем мире разрабатываются системы управления беспилотными автомобилями. В частности, на основе миварных экспертных систем с линейной вычислительной сложности логического вывода «Разуматор» создан и успешно испытан прототип системы принятия решений для соблюдения правил дорожного движения автономного беспилотного автомобиля Robo!Razum. Однако использование этой системы не ограничено беспилотными проектами, и ее можно установить в обычные автомобили в качестве систем контроля за соблюдением водителем правил дорожного движения. Существуют все необходимые модули для создания миварных систем контроля за соблюдением правил дорожного движения на основе «Разуматоров». С помощью такой системы водитель сможет получать подсказки о том, какие маневры разрешены, а в случае нарушения водителем правил дорожного движения – соответствующие сообщения. При условии законодательного урегулирования система сможет передавать данные о нарушении правил в государственные органы и «выписывать» штраф своему водителю по аналогии с существующими комплексами фиксации нарушений правил дорожного движения. Миварный инструментарий (в частности, Wi!Mi «Разуматор», Tel!Mi и Robo!Razum), масштабируемость миварных моделей знаний и малые требования к аппаратному обеспечению позволяют получить низкую себестоимость миварных систем контроля за соблюдением правил дорожного движения, а также адаптировать этот программный продукт под законодательства стран, в которых планируется эксплуатация автомобиля. Данные системы могут быть встроены на заводах в новые автомобили или установлены в качестве дополнительного оборудования на уже используемые автомобили.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, системы помощи водителям, мивар, Разуматор, миварные сети, экспертные системы, беспилотные автомобили, автономные колесные транспортные средства, логический искусственный интеллект, система контроля правил дорожного движения.

Для цитирования: Варламов О. О., Аладин Д. В. О создании миварных систем контроля за соблюдением правил дорожного движения на основе «Разуматоров» и экспертных систем // Радиопромышленность. 2018. № 2. С. 25–35.

O. O. Varlamov^{1, 2, 3}, D. V. Aladin^{1, 2}¹ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, ² MIVAR Scientific and Research Institute, Moscow, Russia, ³ Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia

ABOUT THE CREATION OF MIVAR CONTROL SYSTEMS FOR MONITORING THE KEEPING OF TRAFFIC RULES ON THE BASIS OF LOGICAL KERNEL (RAZUMATOR) AND EXPERT SYSTEMS

The article is dedicated to the issue of the possibility for building a system for monitoring compliance with traffic rules on the basis of mivar technologies. Currently unmanned vehicle control systems are being developed worldwide. In

particular, based on the mivar expert systems supplied with Razumator – a system with linear computational complexity of logical inference, there was constructed and successfully tested a prototype of the decision-making system for monitoring traffic rules compliance (DMS MTRC) for Robo!Razum autonomous unmanned car. Nevertheless, the use of DMS MTRC is not limited to projects of unmanned vehicles development, and such systems can be installed in conventional cars as systems for monitoring drivers' compliance with traffic rules. The article substantiates the opinion that all necessary modules are available to construct mivar systems for monitoring traffic rules compliance (MS MTRC) on the basis of the Razumators. MS MTRC will prompt the drivers for permitted manoeuvres, and in case of violation of traffic rules by drivers the system will inform the driver about such violation. Subject to regulation by laws, MS MTRC can report violations of traffic rules to state authorities and «write out a fine» to the driver similar to the existing systems used for detection and reporting traffic rules violations. The powerful mivar toolkit (WiMi Razumator, TelMi and Robo!Razum), the scalability of the mivar knowledge models and low requirements to hardware make it possible to ensure a low cost of the MS MTRC and also to easily and quickly adapt this software product to the legislation of the countries where a particular car is to be operated. MS MTRC can be built into new cars at automotive factories or can be installed as optional equipment on already used cars.

Keywords: decision support system, DSS, driver assistance system, mivar, logical kernel, Razumator, mivar networks, expert systems, autonomous car, self-driving car, autonomous wheeled vehicles, logical artificial intelligence, control system of traffic rules.

For citation: Varlamov O. O., Aladin D. V. About the creation of mivar control systems for monitoring the keeping of traffic rules on the basis of logical kernel (Razumator) and expert systems. Radiopromyshlennost, 2018, no. 2, pp. 25–35. (In Russian).

DOI 10.21778/2413-9599-2018-2-25-35

Введение

Развитие науки и технической базы, постоянное совершенствование технологий и их распространение в промышленности и в обществе открывают человечеству широкий набор возможностей. Однако, несмотря на позитивные аспекты, технический прогресс может оказывать негативное влияние на безопасность человека. Например, всем известны достоинства современных автомобилей, но при этом, по данным Всемирной организации здравоохранения, автокатастрофы входят в десятку самых частых причин смерти в мире. Для улучшения показателей безопасности дорожного движения применяют различные меры, к которым относятся ужесточение законов, регулирующих поведение участников дорожного движения, и обновление транспортной инфраструктуры [1]. В России по итогам 2016 г. количество ДТП составило свыше 170 тыс. Из них 90% случаев произошло из-за нарушения людьми (водителями и пешеходами) правил дорожного движения. Общее количество пострадавших составило около 220 тыс. человек [2]. Повышение безопасности движения автомобильного транспорта является важнейшим компонентом для спасения человеческих жизней на дорогах.

Надо отметить, что одним из наиболее радикальных предложений по предотвращению ДТП является полное исключение людей из процесса управления автомобилями, т.е. создание на 100% автономного беспилотного транспорта. Конечно, люди будут создавать такие автомобили и разрабатывать программное обеспечение для них, но непосредственно не будут принимать участие в управлении автомобилями, кроме, возможно, неких исключительных случаев и ситуаций. Более того,

в некоторых перспективных моделях беспилотных автомобилей вообще нет ни руля, ни педалей. Сегодня доминирует мировая тенденция развития рынка интеллектуальных (автономных) систем на основе разработок в области искусственного интеллекта. В частности, правительство РФ одобрило план развития российского рынка аппаратно-программных решений для беспилотных автомобилей до 2035 г. [3]. Среди ожиданий:

- распространение систем частичной автономности вождения к 2020 г.;
- достижение уровня высокой автономности транспортных средств к 2025 г.;
- решение задачи по полной автономности вождения к 2035 г.

Предполагается, что разработка и внедрение новых решений для автономного пилотирования автомобилей приведут к существенному сокращению дорожно-транспортных происшествий из-за нарушений правил дорожного движения.

Переход к беспилотным автомобилям будет проходить в несколько этапов – от полного управления человеком к совместному взаимодействию человека с автоматической системой управления автомобилем и до использования полностью автономного беспилотного автомобиля, едущего по автомагистралям (аналог железной дороги), и по второстепенным дорогам, и по бездорожью в различных погодных условиях. В настоящий момент сформировалась тенденция, согласно которой система (комплекс систем) управления автомобилем должна иметь в составе как минимум автоматическую систему траекторного управления (удержание в полосе движения, соблюдение

дистанции в потоке и т.п.), систему технического зрения (сбор информации о дорожной ситуации в реальном времени), систему навигации (прокладывание маршрута) и систему принятия решений для соблюдения правил дорожного движения (СПР ПДД). Конечно, будут и другие важные компоненты и системы. В частности, система по взаимодействию автомобиля с «интеллектуальной» дорожной средой сможет сообщать о дорожных знаках, затруднениях, погоде и т.п. по радиоканалам в беспилотный автомобиль, что значительно облегчит сбор информации о дорожной ситуации и даже, возможно, избавит от необходимости создания сложной системы технического зрения. Так, например, в городах и на основных автомагистралях вместо привычных дорожных знаков и светофоров будут установлены радиопередатчики, сообщающие об ограничениях и о возможных направлениях движения, расстояниях до препятствий, а также данные со стационарных видеокамер о дорожной обстановке и возникающих препятствиях в реальном времени. В любом случае для беспилотного автомобиля необходимо создать СПР ПДД.

Общепризнано, что некоторое время технологии беспилотных автомобилей будут использоваться в человеко-машинном режиме. Для юридического разрешения применения полностью беспилотных автомобилей необходимо проводить тестирование в автоматизированном режиме, при котором человек в любой момент может вмешаться в управление автомобилем. Но, например, СПР ПДД возможно установить и в обычных автомобилях, для того чтобы помогать водителю соблюдать правила дорожного движения или контролировать поведение водителя. Многие исследователи убеждены, что уже сейчас электронные системы автомобиля в состоянии «выписывать» штрафы своим хозяевам-водителям в случае нарушения правил дорожного движения. Необходимо только урегулировать правовые аспекты, но прецеденты со стационарными автоматическими камерами слежения за соблюдением правил и «автоматическим» выписыванием штрафов уже есть.

Таким образом, на основе СПР ПДД может быть создан новый класс устройств – автоматические автономные системы контроля за соблюдением правил дорожного движения. С одной стороны, эти системы контроля будут следить за водителями и помогать им, а с другой – в реальной обстановке дорожного движения смогут доказать возможность создания и практического применения СПР ПДД для полностью автономных автомобилей. С научной точки зрения это одна техническая система, у которой будет два назначения:

1. Система контроля за соблюдением правил дорожного движения и помощи водителям.
2. СПР ПДД для полностью автономных автомобилей.

Следовательно, тематика разработки подобных систем контроля на основе технологий логического искусственного интеллекта является актуальной, реализуемой и практически полезной.

Обзор решений в сфере систем помощи водителям

Разработкой технологий интеллектуального управления автономными колесными транспортными средствами активно занимаются автомобильные концерны (Volkswagen, Tesla, Mercedes-Benz), инженерные центры (Google, Siemens, Baidu), университеты (Стэнфордский университет, Массачусетский технологический институт, Миннесотский университет) и многие другие [4]. Активно ведутся работы в области систем помощи водителям, примерами которых являются интеллектуальные системы Mobileye, Audi driver assistance systems и Opel SAFETEC. Решение от Mobileye представляет собой аппаратно-программный комплекс, позволяющий распознавать дорожные знаки и информировать о превышении разрешенной скорости [5]. Audi driver assistance systems – серийный продукт автопилота в дорожном трафике, который ориентирован на помощь водителю в повседневных ситуациях: удержание полосы, адаптивный круиз-контроль и автоматическое движение в пробках [6]. Opel SAFETEC – представитель комплексной системы безопасности, объединяющей и координирующей все системы активной и пассивной безопасности; включает распознавание дорожных знаков, контроль окружающей дорожной ситуации и предупреждение о превышении разрешенной скорости [7]. Чтобы сделать управление автомобилем комфортным, данные системы непрерывно оценивают дорожную обстановку с помощью многочисленных датчиков, установленных внутри и по периметру снаружи автомобиля. Также для точного ориентирования в пространстве предусмотрены средства навигации и компьютерное зрение.

Существующие системы помощи водителям в настоящее время достаточно дорогие, и поэтому их устанавливают не во все автомобили. Но такие системы реализуют механизмы поддержки безопасного расстояния до впереди идущего автомобиля, удержания полосы и предупреждения нарушения скоростного лимита. Однако они не в полной мере решают проблему предупреждения нарушений правил дорожного движения. В первую очередь это связано с тем, что рассмотренные системы не обладают модулями оценки действий водителя

на согласованность с дорожными правилами. Речь идет о контроле за последовательностью действий водителя и принятием им сложных решений, т.к. «простые» нарушения правил дорожного движения: проезд на запрещающий сигнал светофора или знак, превышение скорости и т.п. – легко обнаруживаются на «рефлексном» уровне систем искусственного интеллекта, например, разными нейросетями или методами «сравнения с шаблонами решений».

При принятии решений на некоторую последовательность своих шагов (проезд перекрестка, движение с обгонами и перестроениями, взаимодействие с другими водителями, принятия решений в нестандартных ситуациях и т.п.) водитель фактически строит алгоритм своих действий в реальном времени и в конкретной дорожной обстановке. Эти процессы уже исследуются на «логическом» уровне искусственного интеллекта. Известно, что задача построения алгоритмов действий является сложной, важна для роботов и зависит от вычислительной сложности способов логического вывода на основе продукционных правил формата «если – то». Кроме того, отсутствие систем помощи водителям «логического» уровня во многом обуславливается тем, что при создании таких систем необходимо учитывать следующие требования:

- наличие возможностей для адаптации продукта под законодательства стран, в которой планируется эксплуатация автомобиля;
- присутствие гибкости в обновлении при внесении изменений регулирующим органом в законодательную базу;
- экономическую доступность технической платформы для владельца автомобиля.

Вышеперечисленные требования разработчики планируют решить при реализации беспилотных транспортных средств. Однако на данный момент уже можно создать модули, удовлетворяющие таким требованиям, и внедрять в существующие платформы помощи водителям. В качестве основы для создания интеллектуальной системы контроля за соблюдением правил дорожного движения может служить миварный подход.

Миварный подход к созданию логического искусственного интеллекта

Миварный подход реализован на логическом уровне искусственного интеллекта и базируется на идее объединения продукций и сетей Петри. В 2002 г. было теоретически показано, что логический вывод на продукциях, представленных в формате миварных двудольных ориентированных сетей, выполняется с линейной вычислительной

сложностью [8]. В 2007 г. обоснован переход от плохо формализуемых антропоморфных терминов искусственного интеллекта к теории активного отражения [9], в которой предложена качественная шкала «интеллектуальности» живого и самоорганизующихся программно-аппаратных комплексов. Важно отметить достаточную универсальность миварных технологий, которые решают задачи на качественно новом уровне в области искусственного интеллекта [10], а также то, что получен патент на логический вывод в миварной базе знаний [11] с линейной вычислительной сложностью. К беспилотным автомобилям близки проблемы создания автономных интеллектуальных роботов, для которых миварные технологии было предложено применять еще в 2004 г. [12], а позже показана возможность создания автономных интеллектуальных робототехнических комплексов (РТК) [13].

Для нашего исследования важно подчеркнуть, что в январе 2017 г. на практике был продемонстрирован беспилотный автономный автомобиль с логическим искусственным интеллектом [14], в котором на основе трех ноутбуков были собраны вместе:

- рефлексная система траекторного управления [4, 14];
- упрощенная система технического зрения;
- миварная система принятия решений с достаточно простой логической моделью движения по городу [4, 14].

Активное участие в исследованиях миварных систем принятия решений принимают российские ученые из МАДИ. Ими были разработаны алгоритмы управления автономным автомобилем в составе интеллектуальных транспортных систем [15], обоснован выбор ключевых технологий функционирования системы межобъектного взаимодействия интеллектуальных транспортных средств [16], исследованы вопросы определения взаимного положения движущихся транспортных средств [17], создана система межобъектного взаимодействия интеллектуальных автомобилей [18], показаны возможности использования данных бортовых мультимедийных сетей автотранспортных средств при дорожных испытаниях и автоматизации управления движением [19].

Таким образом, полноценные интеллектуальные автономные роботы и беспилотные автомобили стали реальностью на основе использования миварных систем принятия решений. Например, для вычисления алгоритмов функционирования сервисных роботов [20] и планирования движения мобильных роботов [21] применяют миварные модели, содержащие от 250 до 350 продукционных правил.

По оценкам специалистов, модель проезда перекрестка для беспилотного автомобиля будет превышать 300 правил в миварной сети.

В настоящее время миварный подход развивается в МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках исследования гибридных интеллектуальных информационных систем [22] с описанием предметных областей в формализме метаграфовой модели данных [23] и интеллектуальных систем [24]. Выполнено структурное развитие миварного подхода с применением классов и отношений [25], показано преимущество миварного подхода перед онтологиями и когнитивными картами [26], реализована миварная машина логического вывода [27] для разработки различных систем, использующих автоматическое построение маршрута логического вывода в миварной базе знаний [28] на основе логически решающих систем («Разуматоров») [10].

Предметная область соблюдения правил дорожного движения тесно связана с разбором различных ДТП, поэтому важно отметить работу Д.А. Чувикова по созданию миварной экспертной системы «Анализ ДТП» [29], применению экспертного моделирования в получении новых знаний человеком [30], практическому использованию системы «Анализ ДТП» для анализа аварий [31] и решения задач, поставленных перед экспертно-криминалистическим центром [32]. Универсальность миварных экспертных систем показывают возможность моделирования поведения автономного робота-гида в среде V-REP [33], аналитическое моделирование распределенной системы обработки данных

методом фонового потока [34] и обоснование выбора программного средства для решения задач массового обслуживания [35].

Таким образом, миварные технологии позволяют создавать алгоритмы на основе активной обучаемой эволюционной двудольной ориентированной сети, управляемой потоком входных данных. Это делает возможным представление накопленных знаний в виде наборов модулей, сервисов и процедур, благодаря чему и обеспечиваются свойства масштабируемости, адаптируемости и гибкости, которые необходимы для построения системы контроля за соблюдением правил дорожного движения.

Концепция создания миварной системы контроля за соблюдением правил дорожного движения

Для решения задачи информирования водителя в реальном времени о нарушении предписаний предлагается реализовать миварную систему контроля за соблюдением правил дорожного движения (МСК ПДД) на основе программного продукта КЭСМИ «Разуматор» [10]. Это составной компонент системы помощи водителю. Миварное хранилище системы представляет собой набор моделей. Каждая модель описывает сравнительно простую предметную область: движение в жилых зонах, проезд перекрестка, пересечение переезда и т.д. Структура МСК ПДД представлена на рис. 1.

Согласно представленной схеме, на вход МСК ПДД поступают данные, распознанные с помощью

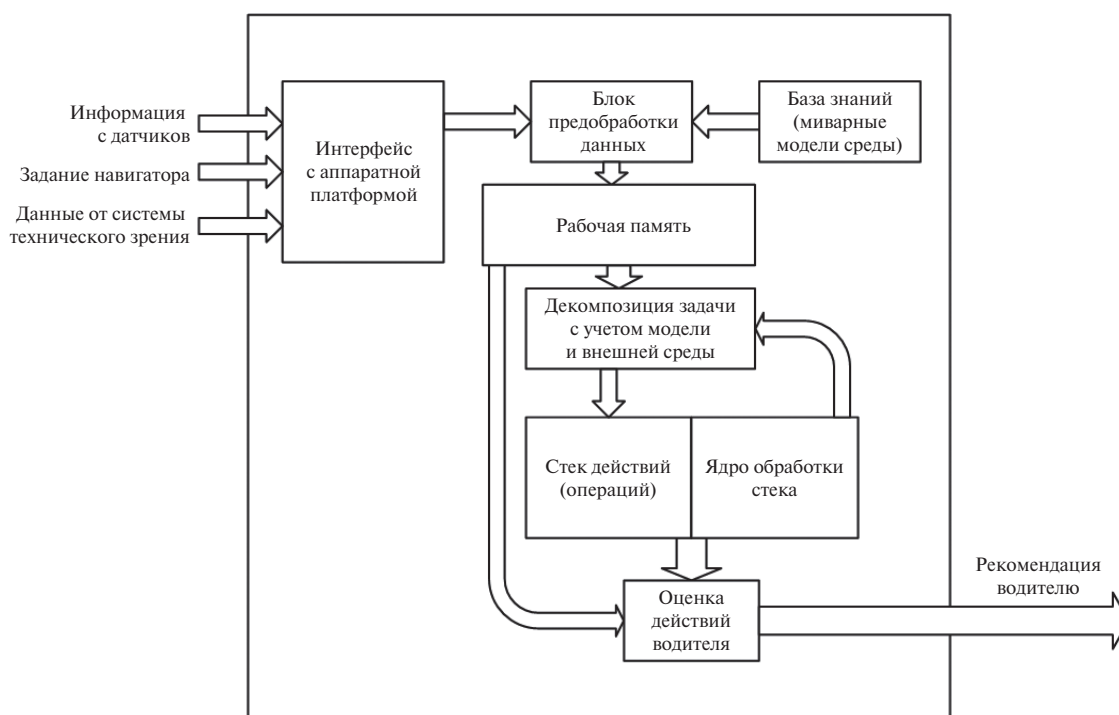


Рисунок 1. Структура МСК ПДД

системы технического зрения, сенсоров автомобиля и навигатора. Данные внешней среды преобразуются в формат объектов миварной модели среды. Формализованные параметры сохраняются в рабочей памяти – область памяти, в которой накапливается множество фактов, описывающих текущее состояние предметной области, т.е. дорожную ситуацию. По полученным факторам с помощью миварной модели предметной области строится алгоритм совершения маневра, каждый шаг которого помещается в стек действий. Полученный набор шагов сравнивается с действиями водителя и делается вывод об их согласованности с правилами дорожного движения. Опишем структуру МСК ПДД в терминах миварных вычислений.

M – миварное многомерное пространство. Оно представляет собой множество осей, точек пространства и их значений. Выделим в данном пространстве множество названий осей $X = \{x_n\}$, $n = 1 \dots N$, где N – размерность M . Пусть Q_n такое множество элементов оси x_n , что

$$\forall x_n \exists Q_n = \{q_{ng}\}, n = 1 \dots N, g = 1 \dots I_n,$$

где q_{ng} – элемент оси x_n ; I_n – размерность оси x_n .

Множество Q_n образует многомерное пространство: $M = Q_1 Q_2 \dots \times Q_n$. В пространстве M обозначим точку $m \in M$ с координатами (g_1, g_2, \dots, g_N) . Пусть c_m – значение точки m . Тогда $C_M = \{c_m\}$ – множество значений точек многомерного пространства M . Для точки m может не существовать или существует единственное значение из множества C_M . Таким образом, C_M является представлением множества фактов, известных о предметной области в многомерном пространстве M .

Для перехода из многомерного пространства точек в пространство значений точек определим отношение

$$\mu: C_y = \mu(M_y),$$

где $M_y \subseteq M$, $C_y \subseteq C_M$ и $M_y = Q_{1y} Q_{2y} \dots \times Q_{Ny}$, $N_y \leq N$.

С точки зрения многомерного пространства M дорожную ситуацию можно представить следующим образом. Множество осей $A \subset X$ является отображением предметной области на многомерное пространство. Например, A_1 – светофор, A_2 – запрещающие знаки и A_3 – помеха слева. Состав объектов A , за которыми идет наблюдение, определяется исходя из количества необходимых данных для принятия решения по управлению автомобилем, согласованного с правилами дорожного движения. Элементами осей многомерного пространства будут являться множество Q_A , которое состоит из варьируемых атрибутов объектов A . Для оси A_1 атрибутами могут быть работоспособность светофора (включен/выключен), сигналы основных и дополнительных секций. Множество C_M в данном случае

будет отображать текущее состояние дорожной ситуации.

Чтобы описать модель предметной области в миварном пространстве, необходимо выделить три оси:

V – ось элементов (объектов);

S – ось свойств;

O – ось отношений.

Элементы множеств V , S и O являются независимыми и образуют пространство VSO . Тогда пространство M представимо кортежем вида

$$\langle V, S, O \rangle.$$

В многомерном пространстве VSO могут в автоматическом режиме строить миварные двудольные сети в формализме $\langle P, R \rangle$ (параметры и правила), в которых:

- объекты пространства будут соответствовать параметрам сетей;
- отношения пространства будут соответствовать правилам сетей;
- свойства пространства будут соответствовать ограничениям правил сетей.

Форму представления данных $\langle P, R \rangle$ называют миварной сетью, в которой на основе логического вывода с линейной вычислительной сложностью будут автоматически строиться алгоритмы «правильных» действий водителя (или системы управления беспилотным автомобилем) с соблюдением правил дорожного движения. Затем система контроля правил дорожного движения будет сверять построенные алгоритмы с «выполняемыми» действиями водителя. При обнаружении ошибок водителя МСК ПДД выдаст подсказки водителю. А в случае полностью беспилотного автомобиля будет выполнять роль системы принятия решений и управлять автомобилем вместо человека.

На примере пересечения нерегулируемого перекрестка ознакомимся с работой миварной сети, оценивающей действия водителя. Пусть автомобиль A , оборудованный СПР ПДД, планирует совершить поворот налево (рис. 2).

При повороте налево автомобиля встречного направления и выезжающие на перекресток справа будут являться помехами, и им нужно будет уступить дорогу. Также при пересечении пешеходного перехода необходимо пропустить пешеходов. При выполнении данных условий водителю автомобиля A разрешено совершить маневр.

Для того чтобы миварная система оценила дорожную ситуацию, необходимо получить с сенсоров автомобиля следующие данные:

- P_1 – задание навигатора (в данном случае «поворот налево»);

- P_2 – статусы дорог (текущая и целевая дорога);
- P_3 – помехи (транспортные средства на перекрестке);
- P_4 – информация о пешеходах.

Тогда

$$P_1, P_2, \dots, P_4 \in V.$$

Пример параметров, описывающих множество P_4 , приведен в таблице.

Для связи собранных параметров алгоритм использует группы отношений R_1 (выборка объектов для наблюдения), R_2 (проверка помех) и R_3 (назначение маневра) и промежуточные показатели TP_1 (перечень объектов для наблюдения) и TP_2 (помехи на целевом пути):

$$R_1, R_2, R_3 \in S; TP_1, TP_2 \in V.$$

За искомым параметр в условиях заданной предметной области возьмем параметр RES (набор рекомендуемых действий) и $RES \in V$.

Полученная миварная сеть для оценки действий водителя транспортного средства A будет выглядеть так, как показано на рис. 3.

Разработанные заранее правила и параметры дорожного движения заносят в миварную базу знаний, или миварную базу данных и правил. По полученной базе знаний формируются рекомендации по управлению автомобилем в текущей дорожно-транспортной обстановке в зависимости от сигналов, передаваемых в МСК ПДД от системы технического зрения и др. Необходимо специально отметить, что для обучения миварных баз знаний необходимо создавать формализованные описания предметных областей в формализме миварных двудольных ориентированных сетей, но эти вопросы исследуются в других работах. Как уже отмечалось [10], разработаны три программных продукта для экспертных систем (Wi!Mi «Разуматор»), понимания смысла текстов (Tel!Mi) и систем принятия решений для автономных роботов (Robo!Razum). Технология Wi!Mi используется в Tel!Mi для понимания смысла. Продукт Tel!Mi позволяет по текстам инструкций автоматически обучать Wi!Mi «Разуматор» и Robo!Razum. В совокупности эти продукты можно использовать для Интернета вещей и других киберфизических систем, т.к. миварные продукты Wi!Mi, Tel!Mi, Robo!Razum

могут работать на одном обычном вычислительном модуле «процессор-память» [10].

Таким образом, созданы все предпосылки для создания МСК ПДД на основе «Разуматоров»

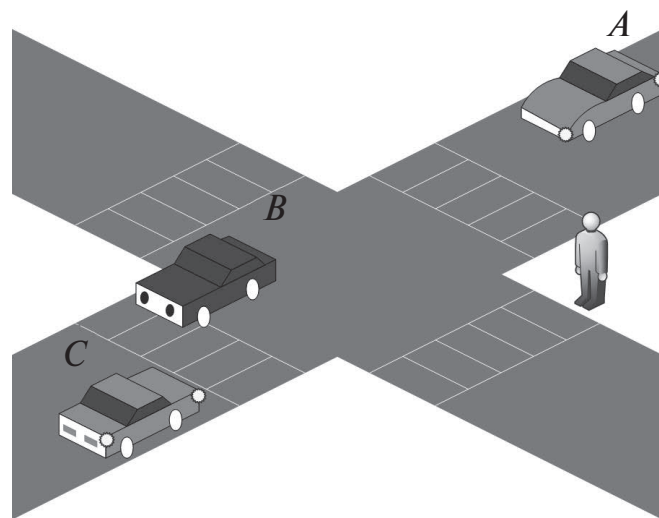


Рисунок 2. Предметная область «Нерегулируемый перекресток»

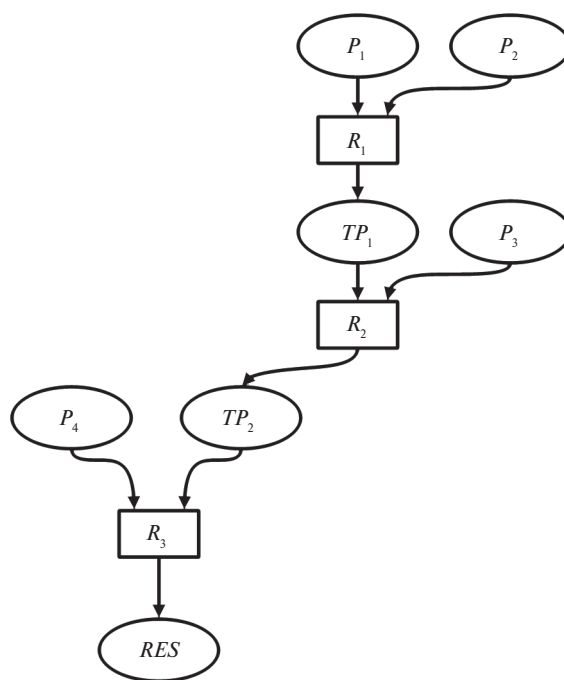


Рисунок 3. Граф алгоритма

Таблица. Параметры, описывающие множество P_4

Название	Описание	Допустимые значения
На текущей дороге	Пешеходы находятся на пешеходном переходе перед перекрестком	Да/нет
На целевой дороге	Пешеходы находятся на пешеходном переходе после перекрестка	Да/нет

и экспертных систем, которые могут использоваться как для систем помощи водителю, так и для СПР ПДД беспилотных автомобилей.

Выводы

Одним из важнейших условий спасения человеческих жизней на дорогах является повышение безопасности движения автомобильного транспорта за счет соблюдения водителями правил дорожного движения. Миварные технологии создания экспертных систем на основе машины логического вывода «Разуматор» способны в реальном времени обрабатывать получаемую от системы технического зрения информацию о дорожной ситуации и строить такие алгоритмы действий водителя, которые полностью соответствуют правилам дорожного движения. Таким образом, в настоящее время существуют все необходимые модули для создания МСК ПДД на основе «Разуматоров» и экспертных систем, которые могут использоваться для систем помощи водителю. Они будут подсказывать водителю разрешенные правилами маневры, а в случае нарушения водителем – будут сообщать ему о нарушении. В случае законодательного разрешения МСК ПДД будут информировать о нарушении государственные органы и «выписывать» штраф своему водителю по аналогии с существующими стационарными комплексами фиксации нарушений правил дорожного движения. МСК ПДД будут устанавливаться в автомобили для помощи водителям и оценки их действий по всему объему правил

дорожного движения, в отличие от существующих комплексов, которые способны фиксировать только самые «простые» нарушения правил (одно правило «если – то»).

Миварный подход обладает высоким потенциалом для эволюционного развития программно-аппаратных комплексов. Поэтому накопленный опыт и знания, полученные в ходе разработки систем помощи водителям (МСК ПДД), в дальнейшем будут использованы при создании полностью автономных беспилотных автомобилей. Важно отметить, что миварный инструментарий (Wi!Mi «Разуматор», Tel!Mi и Robo!Razum), масштабируемость миварных моделей знаний и малые требования к аппаратному обеспечению позволяют получить низкую себестоимость МСК ПДД, а также легко и быстро адаптировать продукт под законодательства стран, в которых планируется эксплуатация автомобиля.

Предложенная концепция построения МСК ПДД отвечает требованию экономической доступности продукта для широкого круга покупателей. Данные системы могут быть встроены на заводах в новые автомобили или установлены в качестве дополнительного оборудования на уже используемые автомобили. Благодаря высокой вычислительной мощности миварных «Разуматоров» открываются широкие возможности для реализации быстродействующих систем помощи водителям и систем принятия решений беспилотных автомобилей, что особенно важно для реальных быстро меняющихся дорожных условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The top 10 causes of death [Электронный ресурс]. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/> (дата обращения: 16.04.2018).
2. В 2016 году на российских дорогах погибли более 20 тысяч человек [Электронный ресурс]. URL: https://www.gazeta.ru/auto/news/2017/02/16/n_9696347.shtml (дата обращения: 16.04.2018).
3. Аннотация к плану мероприятий («дорожной карте») по развитию рынка АвтоНет Национальной технологической инициативы [Электронный ресурс]. URL: <https://asi.ru/nti/docs/AutoNet.pdf> (дата обращения: 08.01.2018).
4. Шадрин С. С. Методология создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду: автореферат дисс. д.т.н. М., 2017. 34 с.
5. Our Technology [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mobileye.com/our-technology/> (дата обращения: 16.04.2018).
6. Driver assistance systems [Электронный ресурс]. URL: <https://www.audi-mediacycenter.com/en/technology-lexicon-7180/driver-assistance-systems-7184> (дата обращения: 16.04.2018).
7. Основные особенности нового OpelMokka: активная и пассивная безопасность [Электронный ресурс]. URL: http://www.opel.ru/vehicles/opel_range/mashiny/mokka/harakteristiki/safety-driver-assistance.html (дата обращения: 16.04.2018).
8. Варламов О. О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. М.: Радио и связь, 2002. 288 с.
9. Варламов О. О. О необходимости перехода от теории искусственного интеллекта к разработке теории активного отражения // Известия ЮФУ. Технические науки. 2007. Т. 77. № 2. С. 89–95.
10. Варламов О. О. Миварный подход как основа качественного перехода на новый уровень в области искусственного интеллекта // Радиопромышленность. 2017. № 4. С. 13–25.
11. Патент РФ № 2607995. Автоматизированное построение маршрута логического вывода в миварной базе знаний / О. О. Варламов, А. М. Хадиев, М. О. Чибирова, Г. С. Сергушин, П. Д. Антонов. Заявитель и патентообладатель: ООО «Мивар»; заявл. 11.02.2015, опубл. 11.01.2017. Бюл. № 2.
12. Варламов О. О. Системы обработки информации и взаимодействие групп мобильных роботов на основе миварного информационного пространства // Искусственный интеллект. 2004. № 4. С. 695–700.
13. О перспективах создания автономных интеллектуальных роботов на основе миварных технологий / О. О. Варламов, В. М. Лазарев, Д. А. Чувилов, П. Джжа // Радиопромышленность. 2016. № 4. С. 96–105.

14. Shadrin S. S., Varlamov O. O., Ivanov A. M. Experimental autonomous road vehicle with logical artificial intelligence [Электронный ресурс]. Journal of Advanced Transportation, 2017, vol. 2017, 10 p. DOI: 10.1155/2017/2492765. URL: <https://www.hindawi.com/journals/jat/2017/2492765/> (дата обращения: 16.04.2018).
15. Шадрин С. С., Иванов А. М., Невзоров Д. В. Автономное колесное транспортное средство в составе интеллектуальных транспортных систем // Естественные и технические науки. 2015. Вып. 6 (84). С. 309–311.
16. Иванов А. М., Шадрин С. С. Обоснование выбора ключевых технологий функционирования системы межобъектного взаимодействия интеллектуальных транспортных средств при движении по скоростным автомагистралям // Вестник МАДИ. 2013. Вып. 1 (32). С. 7–13.
17. Иванов А. М., Шадрин С. С., Карпунин К. Е. Интеллектуальное транспортное средство. Адаптация подсистемы определения взаимного положения движущихся транспортных средств // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. Т. 1. № 2 (16). С. 57–62.
18. Иванов А. М., Шадрин С. С. Разработка системы межобъектного взаимодействия интеллектуальных транспортных средств // Известия ВолгГТУ. Серия «Наземные транспортные системы». Вып. 7: межвузовский сборник научных статей. 2013. № 21 (124). С. 74–77.
19. Шадрин С. С., Иванов А. М., Карпунин К. Е. Использование данных бортовых мультиплексных сетей автотранспортных средств при дорожных испытаниях, разработке ИТС и автоматизации управления движением // Вестник машиностроения. 2016. № 7. С. 25–29.
20. Вычисление произвольных алгоритмов функционирования сервисных роботов на основе миварного подхода / Е. А. Жданович, П. К. Чернышев, К. А. Юфимычев, Д. В. Елисеев, Д. А. Чувиков // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 226–242.
21. Применение миварной экспертной системы для планирования движения мобильного сервисного робота / Е. А. Жданович, А. А. Панферов, К. А. Юфимычев, А. М. Хадиев, Д. В. Елисеев // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 243–254.
22. Черненький В. М., Терехов В. И., Гапанюк Ю. Е. Структура гибридной интеллектуальной информационной системы на основе метаграфов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 9. С. 3–13.
23. Гапанюк Ю. Е., Ревунков Г. И., Федоренко Ю. С. Предикатное описание метаграфовой модели данных // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14. № 12. С. 122–131.
24. Метаграфовый подход для описания гибридных интеллектуальных информационных систем / В. М. Черненький, Ю. Е. Гапанюк, Г. И. Ревунков, В. И. Терехов, Ю. Т. Каганов // Прикладная информатика. 2017. Т. 12. № 3 (69). С. 57–79.
25. Чибирова М. О. Структурное развитие миварного подхода: классы и отношения // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 44–54.
26. Чибирова М. О. Сравнительный анализ миварного подхода с подходами, основывающимися на онтологиях и когнитивных картах // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 55–66.
27. Хадиев А. М. Разработка и практическая реализация миварной машины логического вывода // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 79–89.
28. Сергушин Г. С. Компьютерно-реализованная система для автоматизированного построения маршрута логического вывода в миварной базе знаний // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 90–99.
29. Чувиков Д. А. Об экспертной системе «Анализ ДТП», основанной на концепции миварного подхода // Проблемы искусственного интеллекта. 2017. № 2 (5). С. 78–88.
30. Чувиков Д. А. Применение экспертного моделирования в получении новых знаний человеком // Радиопромышленность. 2017. № 2. С. 72–80.
31. Чувиков Д. А. Использование системы «Анализ ДТП» при экспертизе и анализе аварийных событий дорожно-транспортных происшествий // Научный альманах. 2017. № 3–3 (29). С. 240–243.
32. Чувиков Д. А. Использование экспертной системы «Анализ ДТП» и системы имитационного моделирования Virtual CRASH 3.0 для решения задач, поставленных перед экспертно-криминалистическим центром // Промышленные АСУ и контроллеры. 2017. № 5. С. 23–34.
33. Чувиков Д. А., Сараев Д. В. Моделирование поведения автономного робота-гида в среде V-REP с использованием миварного конструктора алгоритмов // XXVIII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС-2016): сборник трудов конференции. 2017. С. 302–305.
34. Сараев Д. В. Аналитическое моделирование распределенной системы обработки данных методом фонового потока с помощью программного средства «конструктор экспертных систем Wi!Mi!» // Молодежный научно-технический вестник. 2016. № 4. С. 18.
35. Сараев Д. В. Подход к выбору программного средства для решения задач массового обслуживания // Молодежный научно-технический вестник. 2015. № 1. С. 23.

REFERENCES

1. *The top 10 causes of death*. Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/> (accessed 16.04.2018).
2. [In 2016, Russian roads killed more than 20 thousand people]. V 2016 godu na rossijskikh dorogah pogibli bolee 20 tysyach chelovek. *Gazeta.ru*. (In Russian). Available at: https://www.gazeta.ru/auto/news/2017/02/16/n_9696347.shtml (accessed 16.04.2018).
3. [Annotation to the plan of actions (a road map) for development of AutoNet market under the National Technological Initiative]. Annotaciya k planu meropriyatij («dorozhnoj karte») po razvitiyu rynka AvtoNet Nacionalnoj tekhnologicheskoy iniciativy. *Asi.ru*. (In Russian). Available at: <https://asi.ru/nti/docs/AutoNet.pdf> (accessed 08.01.2018).
4. Shadrin S. S. *Metodologiya sozdaniya sistem upravleniya dvizheniem avtonomnykh kolesnykh transportnykh sredstv, integrirovannykh v intellektualnuyu transportnuyu sredu* [Methodology for development of motion control systems for

- autonomous wheeled vehicles integrated in the intelligent transport environment]. The author of the dissertation for scientific degree of the Doctor of engineering science. Moscow, 2017. 34 p. (In Russian).
5. *Our Technology*. Available at: <http://www.mobileye.com/our-technology/> (accessed 16.04.2018).
 6. *Driver assistance systems*. Available at: <https://www.audi-mediacyber.com/en/technology-lexicon-7180/driver-assistance-systems-7184> (accessed 16.04.2018).
 7. [The key features of the new OpelMokka: active and passive safety]. *Osnovnye osobennosti novogo OpelMokka: aktivnaya i passivnaya bezopasnost. Opel.ru*. (In Russian). Available at: http://www.opel.ru/vehicles/opel_range/mashiny/mokka/harakteristiki/safety-driver-assistance.html (accessed 16.04.2018).
 8. Varlamov O.O. *Evolutsionnye bazy dannykh i znaniy dlya adaptivnogo sinteza intellektualnykh sistem. Mivarnoe informatsionnoe prostranstvo* [Evolutionary databases and knowledge bases for adaptive synthesis of intelligent systems. Mivar information space]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 2002, 288 p. (In Russian).
 9. Varlamov O.O. On the need to transit from the theory of artificial intelligence to the development of the theory of active reflection. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2007, vol. 77, no. 2, pp. 89–95. (In Russian).
 10. Varlamov O.O. Mivar approach as a base for the qualitative transition to a new level in the field of artificial intelligence. *Radiopromyshlennost*, 2017, no. 4, pp. 13–25. (In Russian).
 11. Patent RF № 2607995. Varlamov O.O., Khadiev A.M., Chibirova M.O., Sergushin G.S., Antonov P.D. *Avtomatizirovannoe postroenie marshruta logicheskogo vyvoda v mivarnoi baze znaniy* [Automated construction of the logical inference route in the mivar knowledge base]. Zayavl. 11.02.2015, publ. 11.01.2017, byul, no. 2. (In Russian).
 12. Varlamov O.O. Information processing systems and interaction of groups of mobile robots on the basis of the mivar information space. *Iskusstvennyi intellekt*, 2004, no. 4, pp. 695–700. (In Russian).
 13. Varlamov O.O., Lazarev V.M., Chuvikov D.A., Dzhkha P. On the prospects for creation of autonomous intelligent robots based on mivar technologies. *Radiopromyshlennost*, 2016, no. 4, pp. 96–105. (In Russian).
 14. Shadrin S.S., Varlamov O.O., Ivanov A.M. Experimental autonomous road vehicle with logical artificial intelligence. *Journal of Advanced Transportation*, 2017 vol. 2017, 10 p. DOI: 10.1155/2017/2492765. Available at: <https://www.hindawi.com/journals/jat/2017/2492765/> (accessed 16.04.2018).
 15. Shadrin S.S., Ivanov A.M., Nevzorov D.V. Autonomous wheeled vehicle as a part of intelligent transport systems. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2015, no. 6 (84), pp. 309–311. (In Russian).
 16. Ivanov A.M., Shadrin S.S. Substantiation of the selection of key technologies for functioning of the system of inter-object interaction of intelligent vehicles when driving on speedways. *Vestnik MADI*, 2013, vol. 1 (32), pp. 7–13. (In Russian).
 17. Ivanov A.M., Shadrin S.S., Karpukhin K.E. Intelligent vehicle. Adaptation of the subsystem for detection a mutual position of moving vehicles. *Izvestiya MGTU «MAMI»*, 2013, vol. 1, no. 2 (16), pp. 57–62. (In Russian).
 18. Ivanov A.M., Shadrin S.S. Development of the system of inter-object interaction of intelligent vehicles. *Izvestiya VolgGTU. Seriya «Nazemnye transportnye sistemy»*, vol. 7: mezhvuzovskiy sbornik nauchnyh statei, 2013, no. 21 (124), pp. 74–77. (In Russian).
 19. Shadrin S.S., Ivanov A.M., Karpukhin K.E. Use of data of on-board multiplex networks of vehicles during road tests, development of ITS and automation of traffic control. *Vestnik mashinostroeniya*, 2016, no. 7, pp. 25–29. (In Russian).
 20. Zhdanovich E.A., Chernyshev P.K., Yufimychev K.A., Eliseev, D. V., Chuvikov D.A. Calculation of arbitrary algorithms for functioning of service robots on the basis of the mivar approach. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 226–242. (In Russian).
 21. Zhdanovich E.A., Panferov A.A., Yufimychev K.A., Khadiev A.M., Eliseev D.V. Application of a mivar expert system for planning of movement of a mobile service robot. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 243–254. (In Russian).
 22. Chernenkii V.M., Terekhov V.I., Gapanyuk Yu.E. The structure of metagraphs-based hybrid intellectual information system. *Neirokompyutery: razrabotka, primeneniye*, 2016, no. 9, pp. 3–13. (In Russian).
 23. Gapanyuk Yu. E., Revunkov G.I., Fedorenko Yu.S. Predicate description of the meta-graph data model. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy*, 2016, vol. 14, no. 12, pp. 122–131. (In Russian).
 24. Chernenkii V.M., Gapanyuk Yu. E., Revunkov G.I., Terekhov V.I., Kaganov Yu.T. Meta-graph approach for description of hybrid intelligent information systems. *Prikladnaya informatika*, 2017, vol. 12, no. 3 (69), pp. 57–79. (In Russian).
 25. Chibirova M.O. Structural development of the mivar approach: classes and relations. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 44–54. (In Russian).
 26. Chibirova M.O. Comparative analysis of the mivar approach with ontology-based approaches and cognitive maps. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 55–66. (In Russian).
 27. Khadiev A.M. Development and practical implementation of the mivar machine of logical inference. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 79–89. (In Russian).
 28. Sergushin G.S. A computer-implemented system for the automated construction of a logical inference route in the mivar knowledge base. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 90–99. (In Russian).
 29. Chuvikov D.A. About «Analysis of accidents» expert system based on the mivar approach concept. *Problemy iskusstvennogo intellekta*, 2017, no. 2 (5), pp. 78–88. (In Russian).
 30. Chuvikov D.A. Application of expert modelling in obtaining new knowledge by people. *Radiopromyshlennost*, 2017, no. 2, pp. 72–80. (In Russian).
 31. Chuvikov D.A. Use of «Analysis of accidents» system in examination and analysis of road accidents. *Nauchnyi almanakh*, 2017, no. 3–3 (29), pp. 240–243. (In Russian).
 32. Chuvikov D.A. Use of «Analysis of accidents» system and Virtual CRASH 3.0 virtual simulation system for resolving the tasks put an expert forensic center. *Promyshlennyye ASU i kontrolyery*, 2017, no. 5, pp. 23–34. (In Russian).
 33. Chuvikov D.A., Saraev D.V. Modelirovaniye povedeniya avtonomnogo robota-gida v srede V-REP s ispolzovaniem mivarnogo konstruktora algoritmov. *XXVIII Mezhdunarodnaya innovatsionno-orientirovannaya konferentsiya molodykh uchenykh i studentov (MIKMUS2016): sbornik trudov konferentsii* [XXVIII International Innovation-oriented Conference of Young Scientists and Students (MIKMUS-2016): collection of scientific papers of the conference]. 2017, pp. 302–305. (In Russian).

34. Saraev D. V. Analytical modelling of distributed-processing system using background thread approach with software tool Expert system designer Wi!Mi. *Molodezhnyi nauchno-tekhnicheskii vestnik*, 2016, no. 4. pp. 18. (In Russian).
35. Saraev D. V. Approach to the choice of a software tool for solving queueing tasks. *Molodezhnyi nauchno-tekhnicheskii vestnik*, 2015, no. 1, p. 23. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Варламов Олег Олегович, д.т.н., профессор, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет; директор, НИИ «МИВАР», 127521, Москва, ул. Октябрьская, д. 72, тел.: +7 (926) 276-76-45, e-mail: ovar@narod.ru.

Аладин Дмитрий Владимирович, аспирант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; младший научный сотрудник, НИИ «МИВАР», 127521, Москва, ул. Октябрьская, д. 72, тел.: +7 (915) 363-07-79, e-mail: aladin@balabza.com.

AUTHORS

Varlamov Oleg, Dr., professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University; CEO, MIVAR Scientific and Research Institute, 72, Oktyabrskaya ulitsa, Moscow, 127521, Russia, tel.: +7 (926) 276-76-45, e-mail: ovar@narod.ru.

Aladin Dmitry, postgraduate student, Bauman Moscow State Technical University; junior research assistant, MIVAR, 72, Oktyabrskaya ulitsa, Moscow, 127521, Russia, tel.: +7 (915) 363-07-79, e-mail: aladin@balabza.com.