

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ПО ИЗУЧЕНИЮ АВТОНОМНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Е.С. Козин¹, А.В. Базанов², Н.О. Сапоженков³

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

¹e-mail: eskozin@mail.ru

²e-mail: artyom777@mail.ru

³e-mail: sapozhenkovn@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены проблемы создания и эксплуатации автономных автомобилей. При интенсивном развитии систем помощи водителю, беспилотных технологий на автомобильном транспорте трансформируется компетентностная модель современного специалиста в области эксплуатации транспортно-технологических машин. Он должен знать не только теоретические и практические основы эксплуатации автомобилей, но и электронику и электротехнику, прикладную математику, программирование, мехатронику и робототехнику. При этом в настоящее время не представлено комплексных образовательных продуктов по изучению автономных транспортных систем, а существующий перечень лабораторного оборудования ограничен стендами по мехатронике и робототехническими наборами, каждый из которых имеет ряд недостатков, описанных в статье. В качестве решения проблемы предлагается новый образовательный комплекс, в состав которого входит масштабная модель автомобиля, мехатронный комплекс на базе программируемого микроконтроллера, блочный полигон и комплект методических материалов, в которых отражены вопросы сборки, подключения компонентов и реализации на масштабной модели алгоритмов автономного движения, автоматической парковки, автоматического торможения перед препятствиями и некоторыми другими. Для проведения исследований разработаны две масштабные модели: легкового автомобиля и транспортного средства повышенной проходимости. Они имеют возможность установки телематического, мехатронного оборудования и навесных агрегатов. На каждом из транспортных средств реализован режим автономного движения. Изучение таких моделей в образовательном процессе с использованием проектного подхода позволяет образовательному учреждению сформировать компетенции, необходимые для разработки полноразмерных автономных транспортных средств, а обучающимся – повысить свой рейтинг при трудоустройстве. Научная новизна комплекса заключается в возможности выявления закономерностей влияния внешних факторов на адекватность работы системы автономного управления. При этом для проведения эксперимента можно использовать масштабный полигон, на котором будут смоделированы условия эксплуатации. Кроме того, комплекс позволяет проводить научные работы по совершенствованию алгоритмов управления транспортом. Данный образовательный комплекс будет интересен образовательным организациям, учебным центрам компаний автомобильной промышленности, а также физическим лицам, повышающим квалификацию в сфере автономного транспорта.

Ключевые слова: автономный транспорт, беспилотный автомобиль, образование, образовательный комплекс, специалист, эксплуатация транспортно-технологических машин.

Благодарности: данный проект был выполнен в 2017–2018 гг. в рамках гранта на научные разработки, направленные на развитие Тюменского индустриального университета.

Для цитирования: Козин Е. С., Базанов А. В., Сапоженков Н. О. Образовательный комплекс по изучению автономных автомобилей // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 4. – С. 98-105. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-4-98.

EDUCATIONAL COMPLEX FOR THE STUDY OF SELF-DRIVING CARS

E.S. Kozin¹, A.V. Bazanov², N.O. Sapozhenkov³

Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

¹e-mail: eskozin@mail.ru

²e-mail: artyom777@mail.ru

³e-mail: sapozhenkovn@mail.ru

Abstract. This article deals with the problems of creating and operating auto-rated cars. With the intensive development of driver assistance systems, unmanned technology in road transport, the competence model

of a modern specialist in the field of transport and technological machines is transformed. He should know not only the theoretical and practical bases of car operation, but also electronics and electrical engineering, applied mathematics, programming, mechatronics and robotics. At the same time, the complex educational products for the study of autonomous transport systems are not presented, and the existing list of laboratory equipment is limited to stands on mechatronics and robotic kits, each of which has a number of drawbacks described in the article. As a solution to the problem, a new educational complex is proposed, which includes a large-scale model of the car, a mechatronic complex based on a programmable microcontroller, a block polygon and a set of teaching materials that deal with the issues of assembly, connection of components and implementation the staff model of autonomous motion algorithms, automatic par-forging, automatic braking in front of obstacles and some others. For research, two large-scale models have been developed: a passenger car and an elevated vehicle. They have the ability to install telematics, mechatronic equipment and mounted units. Autonomous movement mode is implemented on each of the vehicles. The study of such models in the educational process using the design approach allows the educational institution to form the competencies necessary for the development of full-size autonomous vehicles, and the students to improve their rating when working out. The scientific novelty of the complex lies in the possibility of revealing patterns of influence of external factors on the adequacy of the work of the autonomous control system. At the same time, a large-scale polygon can be used to conduct the experiment, at which operating conditions will be modeled. In addition, the complex allows to conduct scientific work on the improvement of transport control algorithms. This educational complex will be of interest to educational organizations, training centers for companies in the automotive industry, as well as individuals raising their qualifications in the field of autonomous transport.

Keywords: autonomous transport, self-driving vehicle, education, educational complex, specialist, exploitation of transport and technological machines.

Acknowledgements: This project was completed in 2017–2018. as part of a grant for scientific research aimed at the development of Tyumen Industrial University

Cite as: Kozin E. S., Bazanov A. V., Sapozhenkov N. O. (2019) [Educational complex of self-driving cars]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovation. Investments]. Vol. 4, pp. 98-105. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-4-98.

Введение

Решением одной из главных проблем автомобильного транспорта – смертности в результате дорожно-транспортных происшествий – могут стать автономные транспортные средства, технологии которых на сегодняшний день активно развиваются. По прогнозам Json&Partners к 2035 году планируется ввести в эксплуатацию более 30 млн ед. автономной техники, а капитальные вложения в эту сферу только в Российской Федерации составят более 84 млрд долларов. В западных странах уже к началу 2010-х годов на дорогах общего пользования тестировались беспилотные автомобили различных компаний. Так называемые системы помощи водителю (ADAS-системы) являются нормой для большинства автомобилей и все больше усложняются [7, 8]. По данным Bloomberg Philanthropies и Института Аспена (Aspen Institute), на 2017 год в мире насчитывалось 35 городов мира с беспилотными автомобилями, из них 2 города в Российской Федерации. Совсем недавно премьер-министр РФ Дмитрий Медведев подписал постановление о запуске эксперимента по опытной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования в Московской области и Татарстане высокоавтоматизированных транспортных средств. В этих условиях предъявляются новые требования к квалификации персонала, который будет работать с автономными автомобилями. Такие специалисты должны иметь знания и навыки «на стыке» различных направле-

ний подготовки: эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов (23.03.03), технологии транспортных процессов (23.03.01), электрики и электроники (13.03.02, 11.03.04), мехатроники и робототехники (15.03.06), прикладной математики и информатики (01.03.02), а также управления коллективом (38.03.02) [9, 10].

В этой связи существует проблема, требующая решения: на сегодняшний день гибкие образовательные платформы по подготовке специалистов в сфере беспилотных технологий для обеспечения потребностей в автотранспортной сфере развиты не в полной мере. В частности, такими учеными, как Sebastian Thrun, Howie Choset, Kevin M. Lynch, Seth Hutchinson, George Kantor, Bernhard Rumpe, Joseph Howse, Prateek Joshi, Michael Beyeler и др. рассматриваются вопросы позиционирования автономного транспорта, в том числе в условиях локальной системы координат [5, 13, 15], а также вопросы реализации системы автономного управления с использованием алгоритмов компьютерного зрения [11, 12, 16]. Однако вопросы квалификации специалистов для оценки влияния условий эксплуатации на адекватность распознавания объектов автономными автомобилями и эффективность выполнения операций изучены недостаточно.

Гипотезой исследования является предположение о том, что для образовательных и научно-исследовательских целей в сфере беспилотного транспорта могут быть использованы масштабные

модели автономных автомобилей и полигонов, сходных по структуре и свойствам с их полноразмерными аналогами.

Таким образом, целью работы является повышение качества подготовки специалистов в автотранспортной сфере на основе научно-исследовательского и образовательного комплекса по изучению и совершенствованию автономных систем на транспорте.

Для достижения поставленной цели был сформулирован ряд задач:

1) Анализ существующих образовательных и исследовательских продуктов в сфере автономных транспортных средств;

2) Разработка масштабных моделей автономных транспортных средств и полигона, сопоставимых по структуре и свойствам с их полноразмерными аналогами;

3) Оценка экономической эффективности вариантов использования разработанного продукта.

Результаты исследования

Для выявления особенностей использования масштабных моделей автономных автомобилей в сфере беспилотного транспорта был произведен анализ существующих образовательных и исследовательских платформ, результатом которого стало объединение их по группам (таблица 1).

Таблица 1. Анализ образовательных продуктов для изучения устройства автономных автомобилей

№	Наименование образовательного продукта	Выявленные недостатки
1	Набор ТехноБот НТИ АТС (Россия). Ориентировочная стоимость составляет от 200 тыс. руб.	1) отсутствие испытательного полигона; 2) не адаптирован для образовательного процесса, так как не имеет подробных инструкций, описи оборудования, комплектации, а также все компоненты просто сложены внутри пластикового бокса, что снижает удобство пользования; 3) крепление электронных компонентов на шасси недостаточно проработано, поэтому требуется изготовления дополнительных креплений
2	Технолаб (Россия). Стоимость от 150 тыс. руб. Роботрек (Россия). Стоимость от 40 тыс. руб.	1) ориентирован на среднее общее образование; 2) специфичность формирования комплектаций, которая ограничивает возможности базовых комплектаций, заставляя приобретать дополнительные модули; 3) не автомобильная компоновка, колесный робот имеет «танковую» схему движения и поворотов, что затрудняет изучения автомобильных автономных систем.
3	Lego Mindstorms (Дания). Стоимость от 30 тыс. руб.	1) ориентирован на среднее общее образование, основным потребителем набора являются школы и, хотя возможности набора гораздо шире, его основной функционал обусловлен сферой его продаж; 2) специфический способ программирования – графическая оболочка, что затрудняет прогресс в изучении других языков программирования; 3) сложность интеграции с другими проектами, например, Arduino или Raspberry Pi; 4) нет полигона; 5) ограниченность базового набора, требуется покупать дополнительные модули для реализации достаточно крупных проектов.

На основе проведенного анализа установлено, что существующие аналоги имеют значимые недостатки и не могут быть в полной мере использованы для обучения.

Разработанный образовательный комплекс представлен на рисунке 1.

Комплекс включает в себя:

- 1) автомобильное шасси;
- 2) полигон;
- 3) мехатронный и программный комплекс;
- 4) методические материалы.

Автомобильное шасси создано на базе радиоуправляемой модели в масштабе 1:10. В отличие от представленных ранее аналогов оно имеет автомобильную компоновку – управляемые колеса и полный привод, что является предпочтительным для отработки алгоритмов автономного движения [14]. Размеры шасси позволяют устанавливать различное навесное оборудование для проектов любой сложности. Также было разработано транспортное средство для проведения исследований по автоматизации специальной техники и технологического транспорта (рисунок 2).

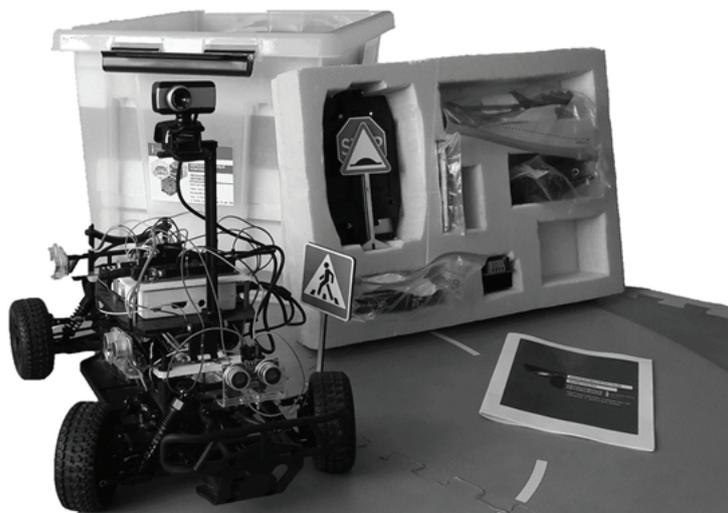


Рисунок 1. Образовательный комплекс «Автономный автомобиль»



Рисунок 2. Масштабные модели беспилотных транспортных средств: слева – модель спецтехники повышенной проходимости с манипулятором, справа – модель легкового автомобиля

На колесную базу устанавливается специально спроектированная платформа, которая имеет размеченные площадки под компоненты управления движением – микроконтроллер, драйвер электродвигателя, макетную плату, а также технологические отверстия для проводов. Реализован модульный принцип – под одни и те же крепления спроектировано несколько платформ, обеспечивающих компоновку различных комплектаций транспортного средства: платформа для изучения основ робототехники с кронштейнами для крепления различных датчиков, дистанционное управление транспортным средством, отработка алгоритмов компьютерного зрения со специальными слотами для микрокомпьютера Raspberry Pi и выносным кронштейном для видеокamеры, изучение специального транспорта с универсальным креплением для манипуляторов на платформе. Масштабные модели

могут быть использованы для проведения научных исследований [4]. Одним из направлений исследований может являться выявление закономерностей влияния внешних факторов на процессы изменения качества автономного транспорта. Эти факторы достаточно хорошо изучены для управляемого человеком транспорта [6], но в значительной мере влияют на параметры эксплуатации автономных автомобилей (погодные условия и т. п.).

Существующие полигоны для робототехнических соревнований, как правило, представляют собой баннерную ткань с напечатанной конфигурацией полигона. Она закрепляется на самоклеющуюся ленту к полу, при этом образуются складки, что существенно осложняет движение роботов по ним, искажая процесс выполнения задачи. Также используются варианты жесткого закрепления баннерной ткани на фанерное основание, однако это усложняет

монтаж полигона и вызывает сложности с его транспортировкой. В связи с этим в рамках текущего проекта был разработан испытательный полигон,

который имеет блочную структуру с размером блоков основания 62×62 см и с ПВХ-блоками для объемных планировочных решений (рисунок 3).

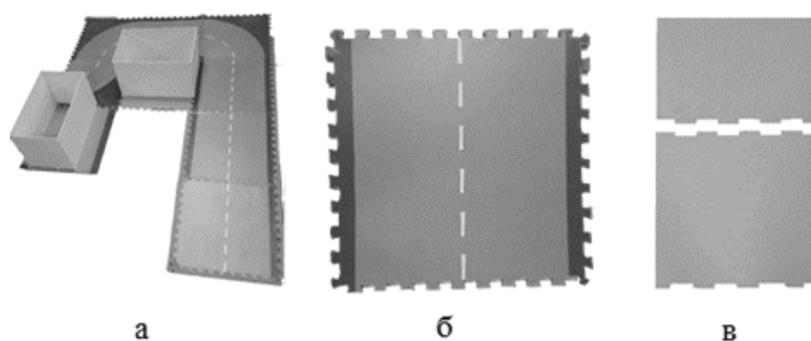


Рисунок 3. Полигон для испытания масштабных моделей автономных автомобилей: а – вариант конфигурации полигона для отработки автономного движения; б, в – готовые блоки модульного полигона для основания и зданий соответственно

Каждый блок по периметру имеет замок для плотной стыковки с другими блоками. Блоки легко стыкуются друг с другом, и полигон может принимать любую конфигурацию, что предоставляет возможность выбирать типы и количество блоков по усмотрению заказчика под любые задачи и размеры помещений. Блоки выполнены из этиленвинилата, поэтому имеют небольшой вес, что создает удобство транспортировки и монтажа. Разработаны типовые схемы полигонов, имитирующие различные условия улично-дорожной сети города, которые наклеиваются сверху на блоки, обеспечивая возможность создания различных конфигураций.

Методические материалы включают в себя инструкции по сборке различных комплектаций, фотографии по установке мехатронных компонентов, программный код, схемы подключения, требуемые материалы и оборудование, чертежи шасси и платформы. Также реализована возможность адаптации

обучающих материалов под структуру образовательной программы заказчика через сформированные типовые комплектации автомобильного шасси и полигона.

Мехатронный и программный комплекс представляет собой структурированную базу программных и аппаратных решений на базе микроконтроллера Arduino и микрокомпьютера Raspberry Pi [14]. Комплекс может выступать основой для научных исследований алгоритмов работы автономных автомобилей. В настоящее время уже реализовано несколько учебных проектов: базовые функции управления движением, автоматическая парковка, автоматическое торможение, дистанционное управление по радиосвязи и протоколу bluetooth, система удержания в полосе, предупреждение и информирование водителя, взаимодействие «V2I», автономное движение по объемному каркасу полигона и некоторые другие (рисунок 4).

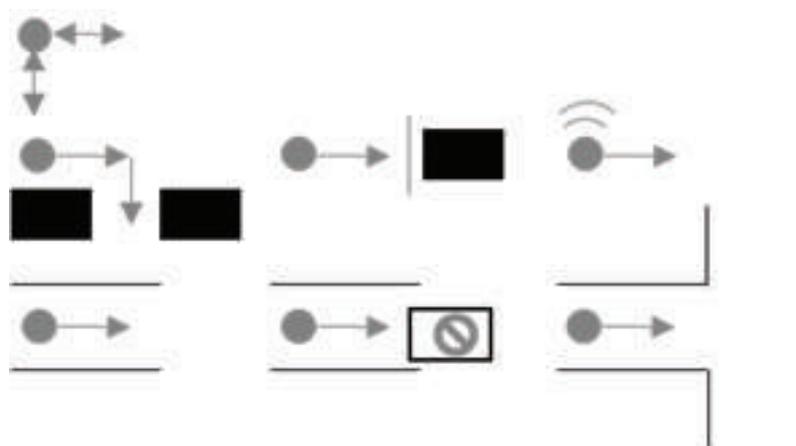


Рисунок 4. Схематическое изображение реализованных на масштабных моделях алгоритмов автономного движения

Научная новизна заключается в разработанной методике создания масштабной модели автономного автомобиля для разработки новых и совершенствования существующих программных и аппаратных решений, использование которой, в отличие от существующих, основывается на образовательном комплексе по изучению и разработке автономных транспортных средств. Такой подход позволяет:

- использовать методику для всех ступеней образования – от среднего общего до высшего образования и программ дополнительного образования и переподготовки;
- обеспечить экономию средств на обучение специалистов;
- отрабатывать беспилотные решения на основе имеющегося в составе полигона для испытаний;
- трансформировать комплекс под различные направления подготовки и уровни обучения без значительного времени для подготовки его использования в образовательных процессах.

Заключение

Таким образом, получен образовательный и научно-исследовательский комплекс, состоящий из масштабных моделей автономных автомобилей, полигона, методического и программного обеспечения. Комплекс может быть использован в рамках новых подходов к реализации образовательного процесса [1, 2, 3]. Данный продукт способен сформировать необходимые компетенции для современных специалистов в области автомобильного транспорта и имеет ценность как завершенная научная разработка – платформа для исследования автономных автомобилей. Кроме того, полученные результаты имеют высокий потенциал для дальнейшего развития, которое заключается в разработке стендов (тренажеров) для изучения автономных транспортных средств и реализации коммерческих решений в сфере автономных транспортных средств специализированного применения.

Литература

1. Алипханова Ф. Н. Проектно-исследовательская деятельность студентов и ее роль в педагогическом образовании // Мир науки, культуры, образования. – 2014. – № 6 (49). – С. 5-7.
2. Боков Л. А. Технология группового проектного обучения в вузе как составляющая методики подготовки инновационно-активных специалистов / Л. А. Боков, М. Ю. Катаев, А. Ф. Поздеева // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 385.
3. Габышева Л. К. Создание института руководителей образовательных программ как инструмент повышения качества образования в вузе // Общество: социология, психология, педагогика. – 2017. – № 7. – С. 92-97.
4. Евграфов А. Н. Методика переноса результатов модельных испытаний на натурный автомобиль // Известия Московского государственного индустриального университета. – 2006. – № 4 (5). – С. 11-12.
5. Жулев В. И. Планирование локальной траектории автомобиля-робота в реальном времени / В. И. Жулев, В. С. Леушкин, Т. Н. Нгуен. // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2013. – № 46-3. – С. 18-23.
6. Захаров Н. С. Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.10. – Тюмень, 2000. – 525 с.
7. Игнатов А. С. Автоматическая интеллектуальная система управления движением грузовых роботизированных автоколонн / А. С. Игнатов, В. Д. Ивченко, П. Г. Круг, Е. Н. Матюхина, М. А. Чистякова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2017. – № 1. – С. 13-18.
8. Козорез Д. А., Кружков Д. М. Состав и структура автономных систем навигации и управления роботизированного прототипа автомобиля // Спецтехника и связь. – 2012. – № 3. – С. 15-18.
9. Матушкин Н. Н. Формирование компетенций выпускника вуза на основе процессного подхода / Н. Н. Матушкин, С. И. Пахомов, И. Д. Столбова // Университетское управление: практика и анализ. – 2011. – № 1 (71). – С. 58-63.
10. Сергеева М. Г. Компетентностная модель выпускника в условиях непрерывного профессионального образования: монография. – М: Московский институт лингвистики, 2015. – 203 с.
11. Arthur Rodrigues A Learning Approach to Enhance Assurances for Real-Time Self-Adaptive Systems / Ricardo Diniz Caldas, Genaina Nunes Rodrigues, Thomas Vogel, Patrizio Pelliccione // SEAMS'18, 2018. – p. 11.
12. Prachi Gawande Traffic Sign Detection and Recognition Using Open CV // International Research Journal of Engineering and Technology. – 2017. – Vol. 04 (4). – pp. 1333-1336.
13. Thrun S. FastSLAM: A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem / M. Montemerlo, S. Thrun, D. Koller, B. Wegbreit // Aaai. – 2002. – Vol. 2. – pp. 593-598.
14. Thrun S. Principles of robot motion. Theory, algorithms and implementation / G. Howie, K. M. Lynch, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki, S. Thrun. – 2004. – Bradford book. – pp. 405-597.
15. Thrun S. Stanley: The robot that won the DARPA Grand Challenge // Journal of field robotics. – 2006. – Vol. 23 (9). – pp. 662-692.

16. Won J. Jeon. Real-time detection of speed-limit traffic signs on the real road using Haar-like features and boosted cascade / Taewoo Lee, Byeongdae Woo, Kwangyong Lim, Gustavo Adrian Ruiz Sanchez, Yeongwoo Choi, Hyeran Byun // Proceedings of the 8th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, 2014. – p. 5.

References

1. Alipkhanova, F.N. (2014) [Design and research activities of students and its role in teacher education]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya* [World of science, culture, education]. No. 6 (49), pp. 5-7. (In Russ.)
2. Bokov, L.A., Kataev, M.Yu., Pozdeeva, A.F. (2013) [The technology of group project training in the university as part of the methodology for preparing innovatively active specialists]. *Sovremennye problem nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. No 6, p. 385. (In Russ.)
3. Gabysheva, L.K. (2017) [Establishment of an institute of educational program managers as a tool for improving the quality of education in the university]. *Obshchestvo: sociologiya, psikhologiya, pedagogika* [Society: sociology, psychology, pedagogy]. No 7, pp. 92-97. (In Russ.)
4. Evgrafov, A.N. (2006) [Methods of transferring the results of model tests on a full-scale car]. *Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta* [News of the Moscow State Industrial University]. No 4 (5), pp. 11-12. (In Russ.)
5. Leushkin, V.S., Nguyen, T.N., Zhulev, V. I. (2013) [Planning a local trajectory of a car-robot in real time]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Ryazan State Radio-technical University]. No 46-3, pp. 18-23. (In Russ.)
6. Zakharov, N.S. (2000) *Vliyaniye sezonnykh usloviy na processy izmeneniya kachestva avtomobilej*. Dokt. Diss. [The influence of seasonal conditions on the processes of change in the quality of cars: dis. ... Dr. Tech. Sciences]. Tyumen. 525 p.
7. Ignatov, A.S. Ivchenko, V.D., Krug, P.G., Matyukhina, E.N., Chistyakov, M.A. (2017) [Automated intellectual control system for the movement of cargo robotic convoys]. *Promyshlennyye ASU i controller* [Industrial ACS and controllers]. No 1, pp. 13-18 (In Russ.)
8. Kozorez, D.A., Krujkov, D.M. (2012) [Composition and structure of autonomous navigation systems and control of a robotic prototype of a car]. *Spektekhnika i svyaz* [Special equipment and communication]. Vol. 3, pp. 15-18. (In Russ.)
9. Matushkin, N.N., Pakhomov, S.I., Stolbova, I.D. (2011) [Formation of competencies of a university graduate on the basis of the process approach]. *Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz* [University management: practice and analysis]. Vol. 1 (71), pp. 58-63. (In Russ.)
10. Sergeeva, M.G. (2015) *Kompetentnostnaya model' vypusknika v usloviyah nepreryvnogo professional'nogo obrazovaniya* [Competence model of a graduate in the conditions of continuing professional education]. Moscow: Moscow Institute of Linguistics, p. 203.
11. Arthur Rodrigues, Ricardo Diniz, Caldas, Genaína Nunes Rodrigues, Thomas Vogel, Patrizio Pelliccione (2018) A Learning Approach to Enhance Assurances for Real-Time Self-Adaptive Systems. *SEAMS'18*, p. 11.
12. Prachi Gawande (2017) Traffic Sign Detection and Recognition Using Open CV. *International Research Journal of Engineering and Technology*. Vol. 04, pp. 1333-1336. (In Engl.)
13. Thrun, S., Montemerlo, M., Thrun, S., Koller, D., Wegbreit, B. (2002) FastSLAM: A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem. *Aaai*. Vol. 2, pp. 593-598. (In Engl.)
14. Thrun, S., Howie, G., Lynch, K.M., Kantor, G., Burgard, W., Kavraki, L.E., Thrun, S. (2004) Principles of robot motion. Theory, algorithms and implementation. Bradford book, pp. 405-597. (In Engl.)
15. Thrun, S. (2006) Stanley: The robot that won the DARPA Grand Challenge. *Journal of field robotics*. Vol. 23 (9), pp. 662-692. (In Engl.)
16. Won, J. Jeon. (2014) Real-time detection of speed-limit traffic signs on the real road using Haar-like features and boosted cascade. *Proceedings of the 8th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication*. p. 5 (In Engl.)

Информация об авторах:

Евгений Сергеевич Козин, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, **Researcher ID**: D-8474-2019, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

e-mail: eskozin@mail.ru

Артем Владимирович Базанов, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

e-mail: artyom777@mail.ru

Николай Олегович Сапоженков, кандидат технических наук, доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
e-mail: sapozhenkovn@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10.01.2019; принята в печать 05.06.2019.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Evgeniy Sergeevich Kozin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Car service and technological machines Department of Tyumen Industrial University, **Researcher ID:** D-8474-2019, Tyumen, Russia

e-mail: eskozin@mail.ru

Artem Vladimirovich Bazanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Car service and technological machines Department of Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

e-mail: artyom777@mail.ru

Nikolay Olegovich Sapozhenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Car service and technological machines, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

e-mail: sapojenkovn@mail.ru

The paper was submitted: 10.01.2019.
Accepted for publication: 05.06.2019.
The authors have read and approved the final manuscript.