

УДК 621.865.8

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МОБИЛЬНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ. ОПЫТ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

М.Н. Артеменко<sup>1</sup>, П.А. Корчагин<sup>2</sup>, И.А. Тетерина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сотое военное представительство,  
г. Омск, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «СибАДИ»,  
г. Омск, Россия  
iateterina@mail.ru

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Робототехника сегодня одно из важнейших направлений фундаментальных, научно-технических и прикладных исследований, основными проблемами которого являются разработка схем получения информации об окружающей среде, создание искусственного интеллекта и эффективных систем управления сложными динамическими объектами в условиях существующей неопределенности. В последние годы робототехника переживает этап стремительного развития, все больше охватывая гражданскую и военную сферы человеческой деятельности. Количество разработанных и внедренных мобильных беспилотных роботизированных комплексов военного и двойного назначения в разы превышает количество разработок роботизированных комплексов гражданского назначения. Целью данной работы является обзор наиболее перспективных на сегодняшний день образцов мобильной беспилотной роботизированной техники, применяемой в различных сферах человеческой деятельности.

**Результаты.** В статье проведен обзор современных разработок мобильных беспилотных роботизированных комплексов гражданского назначения, применяемых в сельскохозяйственном комплексе, промышленном и гражданском строительстве, а также грузоперевозках. Рассмотрены перспективные образцы российской и иностранной беспилотной роботизированной техники. Сформулированы факторы, от которых в большей степени зависит потребность ключевых сфер человеческой деятельности в создании и внедрении беспилотных мобильных роботизированных комплексов. Приведен перечень основных программ и концепций развития Российской Федерации, в соответствии с которым ведутся разработки в области роботизации.

**Обсуждение и заключение.** Выявлены основные элементы автоматизированных систем управления, навигации и автопилотирования, выступающие базой мобильных беспилотных роботизированных комплексов. Раскрыто понятие «фовеальное зрение», позволяющее быстро и точно распознавать неровности дорожного полотна и препятствия на пути следования транспортного средства.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** мобильные роботизированные комплексы, робототехника, строительно-дорожные машины, грузовые автомобили, карьерные машины, техника для сельскохозяйственных работ, система автопилотирования, навигаторы, дальномер Lidar, фовеальное зрение.

© М.Н. Артеменко, П.А. Корчагин, И.А. Тетерина



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# DEVELOPMENT TRENDS OF UNMANNED ROBOTIC SYSTEMS: EXPERIENCE OF DOMESTIC AND FOREIGN MANUFACTURERS

*M.N. Artemenko<sup>1</sup>, P.A. Korchagin<sup>2</sup>, I.A. Teterina<sup>2</sup>*  
*Omsk Military Representation Number Hundred,*

*Omsk, Russia*

*<sup>2</sup>Siberian State Automobile and Highway University,*  
*Omsk, Russia*

*iateterina@mail.ru*

## ABSTRACT

**Introduction.** Nowadays robotics is one of the most important directions of fundamental, technical, scientific and applied research. The main robotics' challenges are to develop schemes for obtaining information about environment and the creation of artificial intelligence effective systems of the complex dynamic objects' control in uncertainty conditions. Recently, robotics is going through the stage of rapid development, more and more covering the civilian and military spheres of human activity. The number of developed and implemented mobile unmanned robotic complexes of military and dual-use exceeds the number of robotic complexes in progress. The purpose of the research is to review the most promising samples of mobile unmanned robotic equipment used in various fields of human activity.

**Results.** The paper reviewed the modern developments of mobile unmanned robotic complexes applied in the agricultural complex, industrial and civil construction, and in cargo transportation. The authors analyzed promising samples of Russian and foreign unmanned robotic technology. Moreover, the authors presented factors that increasingly depended on key spheres of human activities in the development and implementation of mobile robotic systems. Therefore, the paper demonstrated the list of major programs and concepts for the development of the Russian Federation in robotic sphere.

**Discussion and conclusions.** As a result, the authors identify the basic elements of automated control systems, of navigation and autopilot system basing on mobile unmanned robotic complexes. The paper also reveals the concept of the foveal vision, which allows quickly and accurately detect pavement roughness and obstacles on the vehicle's way.

**KEYWORDS:** mobile robotic systems, robotics, construction and road machinery, trucks, mining machinery, agricultural equipment, autopilot system, navigation, Lidar rangefinder, foveal vision.

© M.N. Artemenko, P.A. Korchagin, I.A. Teterina



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

**ВВЕДЕНИЕ**

Необходимость и актуальность создания мобильных беспилотных роботизированных комплексов (МБРТК) специального, двойного и гражданского назначения не вызывает сомнения. Особое внимание этому направлению уделяется в различных документах долгосрочного планирования страны. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (в том числе машиностроительный комплекс) предусматривает разработку автомобилей с интеллектуальными системами, создание более автоматизированного и роботизированного безлюдного производства<sup>1</sup>. Также Правительством РФ в 2000–2018 годах приняты: Стратегия развития автомобильной промышленности РФ на период до 2025 года<sup>2</sup>, Распоряжение Правительства РФ от 01.11.13 № 2036-р «Об утверждении стратегии развития отрасли информационных технологий в РФ на 2014–2020 годы и на перспективу до 2025 года»<sup>3</sup>, «Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года»<sup>4</sup>, Государственная программа РФ «Развитие промышленности и повышения ее конкурентоспособности» (ред. от 16.02.16 года), Приказ Минтруда РФ от 02.11.15 года № 831 «Об утверждении списка 50 наиболее востребованных на рынке труда новых и перспективных профессий, требующих среднего специального образования (мобильный робототехник)»<sup>5</sup>. Кроме этого, постоянно совершенствуются госу-

дарственные и национальные стандарты в этой области [1].

Надо отметить стремительные темпы распространения роботизации на технику военного и специального назначения. Возможно, это связано с явным акцентом правительств разных стран на необходимость и актуальность темы укрепления обороноспособности.

Разработка мобильных беспилотных роботизированных комплексов активно ведется различными ведомствами Минобороны, МВД, ФСБ и МЧС, утвердившими ряд программ и концепций развития относительно своей специализации. Разработки ведутся в этой области в соответствии с комплексной программой «Роботизация – 2020», комплексной целевой программой «Создание перспективной военной робототехники до 2025 года», «Объединенной программой создания комплексов с беспилотными летательными аппаратами, наземных робототехнических комплексов и морской роботизированной системы для Вооруженных сил Российской Федерации в 2011–2020 гг.»<sup>6</sup>, «Концепцией применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами в Вооруженных Силах Российской Федерации на период до 2025 года»<sup>7</sup> [2].

Однако, несмотря на важность обеспечения обороноспособности стран, нельзя исключать другие отрасли, такие как медицина, сельское хозяйство, дорожное и гражданское строительство, горнодобывающая промышленность, также требующие модернизации и внедрения разработок робототехники, в том числе МБРТК.

---

<sup>1</sup> Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года: Распоряжение правительства РФ от 03.01.2014 г. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70484380>

<sup>2</sup> Стратегия развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года: Распоряжение Правительства РФ N 831-р от 28.04.2018 г. [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_297129/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_297129/)

<sup>3</sup> Распоряжение правительства РФ от 01.11.13 № 2036-р «Об утверждении стратегии развития отрасли информационных технологий в РФ на 2014–2020 годы и на перспективу до 2025 года» <http://base.garant.ru/70498122/>

<sup>4</sup> «О концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года»: Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 N 1662-р (ред. от 28.09.2018) [Электронный ресурс]: URL: <http://www.zakonprost.ru/content/base/part/593274>

<sup>5</sup> Приказ Минтруда РФ от 02.11.15 г. № 831 «Об утверждении списка 50 наиболее востребованных на рынке труда новых и перспективных профессий, требующих среднего специального образования» <https://rosmintrud.ru/docs/mintrud/orders/436>.

<sup>6</sup> Корчагин П.А. К вопросу о выборе системы управления роботизированным комплексом на базе строительно-дорожной машины / П.А. Корчагин, М.Н. Артеменко, И.А. Тетерина // В сборнике : Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. 2019. С. 67–70.

<sup>7</sup> О перспективах развития роботизированных комплексов различного назначения. Режим доступа: <http://government.ru/news/14804/> (дата обращения: 11.12.2018).

## **ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Целью данной работы является обзор наиболее перспективных на сегодняшний день образцов мобильной беспилотной роботизированной техники, применяемой в различных сферах человеческой деятельности. Авторы ставили перед собой цель отразить как российский опыт применения МБРТК, так и рассмотреть наиболее эффективные примеры роботизации других государств.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Рост потребности в роботизации той или иной сферы деятельности обусловлен рядом факторов. Очевидно, что для каждого отдельного государства перечень этих факторов будет меняться. Для Российской Федерации можно выделить следующие<sup>8,9</sup> [2]:

1. Рост государственных инвестиций в развитие робототехники.
2. Увеличение межведомственных программ развития робототехники.
3. Прогрессивные решения руководства компаний о полной роботизации предприятий и производств взамен механизации.
4. Скорость внедрения систем GPS/GLONASS<sup>10</sup>[2].
5. Рост конкурентных преимуществ, в том числе за счет снижения производственных издержек разработчиков роботизированных комплексов<sup>11</sup>.
6. Преодоление пассивности на внутреннем рынке потребителей.
7. Трансфер рыночных ниш и компетенций по выводу гражданских роботов РФ на мировые рынки по аналогии с экспортом военных роботизированных систем.
8. Готовность российского бизнеса и ученых работать в международных и национальных кооперационных платформах и кластерах.

9. Универсальность производимых в Российской Федерации роботизированных комплексов.

10. Низкая квалификация и отсутствие кадров мирового уровня, способных создавать группы промышленных дизайнеров, сервисных инженеров, маркетологов робототехнических проектов.

11. Синхронизация роботизированных комплексов с используемым оборудованием.

12. Отсталость инновационной инфраструктуры и условий (среды) для робототехнических проектов.

13. Недостаточность комплексного формирования государственного заказа в Российской Федерации и стимулирования спроса на роботизированные комплексы<sup>12</sup>.

## **ПРИМЕРЫ ЗАРУБЕЖНЫХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ. ТЕХНИКА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ**

В зарубежных странах работы по созданию мобильных беспилотных роботизированных тракторов для сельскохозяйственного сектора ведутся активно<sup>13</sup>. Внедрение МБРТК позволяет автоматизировать большое количество рабочих операций, повысить качество и производительность труда (включая проведение работ в ночное время), снизить издержки в условиях нестабильного по погодным критериям земледелия.

Финская компания Valtra Inc., разработчик и производитель тракторов, второй по величине поставщик сельскохозяйственной техники в Латинскую Америку. Одной из уникальных разработок компании считается трактор Valtra RoboTrac (рисунок 1)<sup>14</sup> [3]. Трактор представляет собой МБРТК, способный вы-

---

<sup>8</sup> Российская робототехника. Режим доступа: [https://ruxpert.ru/Российская\\_робототехника](https://ruxpert.ru/Российская_робототехника) (дата обращения: 28.01.2019).

<sup>9</sup> Рынок робототехники в России: предложения по развитию. Режим доступа: <https://docplayer.ru/70889420-Рынок-робототехники-в-россии-predlozheniya-po-razvitiyu.html> (дата обращения: 28.01.2019)

<sup>10</sup> Российская робототехника. Режим доступа: [https://ruxpert.ru/Российская\\_робототехника](https://ruxpert.ru/Российская_робототехника) (дата обращения: 28.01.2019).

<sup>11</sup> Там же.

<sup>12</sup> Российская робототехника. Режим доступа: [https://ruxpert.ru/Российская\\_робототехника](https://ruxpert.ru/Российская_робототехника) (дата обращения: 28.01.2019).

<sup>13</sup> Совершенство для сельского хозяйства. Режим доступа: <https://geosystems.ru/use/obshchee/articles/sovershenstvo-dlya-selskogo-khozyaystva/> (дата обращения: 07.11.2018).

<sup>14</sup> VALTRA: сайт компании. Режим доступа: <http://www.valtra.ru/about-valtra.aspx> (дата обращения: 22.12.2018).



Рисунок 1 – Трактор RoboTrac Valtra

Figure 1 – RoboTrac Valtra tractor



Рисунок 2 – Беспилотный трактор FMTC

Figure 2 – Unmanned FMTC Tractor

полнять целый комплекс сельскохозяйственных работ (см. рисунок 1)<sup>15,16</sup>.

Valtra RoboTrac предназначен для работ на виноградниках, кофейных и фруктовых плантациях. Функционал трактора позволяет самостоятельно вспахивать, обрабатывать и засеивать почву, орошать посевы. Управление трактором осуществляется с помощью GNSS-навигаторов и интернета<sup>17,18</sup>.

Другим положительным примером применения использования МБРТК в сельском хозяйстве можно считать беспилотный мобильный трактор, сконструированный бельгийскими учеными в центре мехатроники Фландрии (FMTC), объединяющем ряд машиностроительных компаний и ученых Левенского университета (рисунок 2)<sup>19</sup>.

Представленный вид сельскохозяйственной техники оборудован системами управления двигателя, тормозной системой и рулевым колесом, комплектом датчиков, в том числе GNSS-устройством. На основе анализа почвы машина самостоятельно определяет скоростной режим и радиус угла поворота с точно-



Рисунок 3 – Трактор YTO с АСУ Leica iCON

Figure 3 – YTO tractor with an automated control Leica iCON system

стью до нескольких сантиметров<sup>20</sup>. Поскольку при отсутствии твердого покрытия скоростной режим нестабилен, трактор оснащен датчиками, способными отслеживать все неровности микрорельефа. Решение о повороте принимается техникой на основе данных GNSS-у-

<sup>15</sup> Совершенство для сельского хозяйства. Режим доступа: <https://geosystems.ru/use/obshchee/articles/sovershenstvodya-selskogo-khozyaystva/> (дата обращения: 07.11.2018).

<sup>16</sup> VALTRA: сайт компании. Режим доступа: <http://www.valtra.ru/about-valtra.aspx> (дата обращения: 22.12.2018).

<sup>17</sup> Совершенство для сельского хозяйства. Режим доступа: <https://geosystems.ru/use/obshchee/articles/sovershenstvodya-selskogo-khozyaystva/> (дата обращения: 07.11.2018).

<sup>18</sup> VALTRA: сайт компании. Режим доступа: <http://www.valtra.ru/about-valtra.aspx> (дата обращения: 22.12.2018).

<sup>19</sup> FLANDERSMAKE: сайт компании. Режим доступа: <https://www.flandersmake.be/nl> (дата обращения: 22.12.2018).

<sup>20</sup> FLANDERSMAKE: сайт компании. Режим доступа: <https://www.flandersmake.be/nl> (дата обращения: 22.12.2018).



а



б

Рисунок 4 – Сельскохозяйственная техника Hands Free Hectare:  
а – беспилотный комбайн; б – беспилотный трактор

Figure 4 – Agricultural Hands Free Hectare equipment:  
a – unmanned combine; b – unmanned tractor

стройств, поддерживая, таким образом, заданное направление<sup>21</sup>.

В 2018 году швейцарской компанией Leica Geosystems подписан долгосрочный договор с китайским производителем спецтехники УТО на поставку оборудования для управления МБРТК на базе трактора (рисунок 3) [4].

В состав системы входит телематическое оборудование Leica iCON, обеспечивающее передачу данных о работе машины в офис компании и получение техподдержки онлайн [4]. Базовая версия системы может иметь как двухмерную (2D), так и трехмерную (3D) форму. Управление может осуществляться по сигналам тахографа, GPS/GLONASS, а также по лазерным и ультразвуковым сигналам. Блоки автоматизированной системы управления быстросъемные и при необходимости могут использоваться на других машинах [5].

Британский проект Hands-Free Hectare показал, что на сегодняшний день можно практически полностью автоматизировать полевые работы, доверив это МБРТК [5]. В рамках проекта использовался беспилотный трактор и беспилотный комбайн (рисунок 4), которыми

был выполнен весь цикл полевых работ от засеивания опытного гектара до опрыскивания и уборки урожая [5].

Автоматизация сельскохозяйственных работ – актуальная сфера развития робототехники. Традиционно для этого применяются специальные агротехнические комплексы и сложные механизмы<sup>22</sup>[5]. Вплоть до недавнего времени для управления перемещением техники по полю при вспахивании, засеивании и уборке урожая требовались люди<sup>23</sup>. Однако в последнее время технологии беспилотного вождения активно внедряются в сельскохозяйственную технику. Об этом свидетельствует появление сельскохозяйственных дронов и беспилотных тракторов, позволяющих снизить прямое участие человека в различного рода полевых работах [5].

### **БЕСПИЛОТНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

Калифорнийская фирма Built Robotics разработала прототип беспилотного самоуправляемого экскаватора<sup>24</sup>. Модифицированный мини-погрузчик Bobcat (рисунок 5) способен свободно перемещаться по строительной пло-

<sup>21</sup> Роботы засеяли гектар и собрали с него урожай почти без участия человека. Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2017/09/09/robot-in-the-rye> (дата обращения: 22.12.2018).

<sup>22</sup> Роботы засеяли гектар и собрали с него урожай почти без участия человека. Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2017/09/09/robot-in-the-rye> (дата обращения: 22.12.2018).

<sup>23</sup> Там же.

<sup>24</sup> Беспилотный мини-погрузчик от Built Robotics делает всю грязную работу. Режим доступа: <http://dormehteh.ru/bespilotnyj-mini-pogruzchik-ot-built-robotics-sdelaet-vsyu-gryaznyuyu-rabotu> (дата обращения: 16.11.2018).



Рисунок 5 – Беспилотный погрузчик Built Robotics

Figure 5 – Built Robotics unmanned loader

щадке, преодолевая и объезжая препятствия, а также разрабатывать котлован с учетом заданных геометрических размеров.

Для реализации работы в беспилотном режиме погрузчик оснащен высокоточным GPS-приемником, модулем беспроводной связи, системой распознавания образов и оптическим дальномером Lidar. Особенностью дальномера, установленного на эту модель строительно-дорожной техники, является то, что он рассчитан на значительно большие по сравнению с предыдущими моделями удары и вибрации<sup>25</sup>.

Кроме пространственной ориентации экскаватор оснащен сенсорами, предназначенными для отслеживания наполняемости ковша, а также для исключения наезда на людей, находящихся на строительной площадке<sup>26</sup>. В случае приближения людей МБРТК временно останавливается [4]. Кроме этого, GPS-приемник в сочетании с наземным передатчиком, установленным на строительном объекте, по-

зволяет экскаватору отслеживать свое местоположение с точностью до сантиметра<sup>27</sup>.

Шведская компания Volvo в 2018 году представила свою разработку – беспилотный грузовик (рисунок 6). В 2019 году был заключен контракт на использование беспилотных грузовиков норвежской горнодобывающей компанией Bronnoy Kalk. В конце 2019 года к полноценной эксплуатации приступят шесть МБРТК на базе тягачей Volvo<sup>28</sup>.



Рисунок 6 – Беспилотный грузовик Volvo

Figure 6 – Volvo unmanned truck

Машины будут транспортировать добытый с рудника известняк до порта и разгружать его в измельчитель. Оттуда сырье будет загружаться на баржу<sup>29</sup> [5]. Длина трассы от рудника до места выгрузки составляет около 4,8 км<sup>30</sup>. Передвигаясь по заранее заданному маршруту, автомобилям придется проезжать через два длинных тоннеля (длина первого составляет около 3,5 км, второго – около 800 м). Для движения по маршруту автомобили используют набор из GPS-датчиков, радар, а также сенсоры дальномера Lidar<sup>31</sup>.

<sup>25</sup> Беспилотный мини-погрузчик от Built Robotics сделает всю грязную работу. Режим доступа: <http://dormehteh.ru/bespilotnyj-mini-pogruzchik-ot-built-robotics-sdelaet-vsuyu-gryaznuyu-rabotu> (дата обращения: 16.11.2018).

<sup>26</sup> Ендачев Д.В. Прогнозирование характеристик криволинейного движения беспилотного автомобиля: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ендачев Денис Владимирович. Москва, 2016. С.19.

<sup>27</sup> Беспилотный мини-погрузчик от Built Robotics сделает всю грязную работу. Режим доступа: <http://dormehteh.ru/bespilotnyj-mini-pogruzchik-ot-built-robotics-sdelaet-vsuyu-gryaznuyu-rabotu> (дата обращения: 16.11.2018).

<sup>28</sup> Ендачев Д.В. Прогнозирование характеристик криволинейного движения беспилотного автомобиля: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ендачев Денис Владимирович. Москва, 2016. С.19.

<sup>29</sup> Ендачев Д.В. Прогнозирование характеристик криволинейного движения беспилотного автомобиля: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ендачев Денис Владимирович. Москва, 2016. С.19.

<sup>30</sup> Беспилотные БЕЛАЗы: роботы к работе готовы. Режим доступа: <https://st-kt.ru/articles/bespilotnye-belazy-roboty-k-rabote-gotovy> (дата обращения: 28.01.2019)

<sup>31</sup> Беспилотные БЕЛАЗы: роботы к работе готовы. Режим доступа: <https://st-kt.ru/articles/bespilotnye-belazy-roboty-k-rabote-gotovy> (дата обращения: 28.01.2019)



Рисунок 7 – Беспилотные карьерные машины на базе БЕЛАЗ

Figure 7 - Unmanned quarry vehicles based on BELAZ

В ноябре 2018 года Белорусским заводом машиностроения были созданы две беспилотные карьерные машины [6]: беспилотный самосвал БЕЛАЗ-7513R и погрузчик БЕЛАЗ-78250 (рисунок 7)<sup>32, 33</sup>.

Уникальность проекта заключается в том, что беспилотные МБРТК были созданы на базе одной из самых больших строительно-дорожных машин – самосвала, способного транспортировать объемы груза до 136 т и погрузчика грузоподъемностью 22 т [4, 6].

МБРТК были разработаны в рамках реализации проекта «Интеллектуальный карьер» с участием московской компании VIST Robotics, специализирующейся на создании систем управления технологическими процессами на открытых горных работах в полностью автономном режиме, а также международной компании «Цифра», известной своими пере-

довыми цифровыми технологиями в промышленности<sup>34</sup>.

Нужно отметить, что погрузчик в автономном режиме движения способен только перемещаться к месту работы, а забором грунта в ковш и его погрузкой в кузов самосвала управляет оператор [7]. Управление происходит удаленно, и величина удаления не имеет принципиального значения. Пульт управления состоит из четырех мониторов, на трех из которых отражена окружающая погрузчика обстановка, а на четвертом – в онлайн-режиме параметры машины [7].

В отличие от погрузчика роботизированный самосвал полностью автоматизирован<sup>35</sup>. Работа машины осуществляется по заранее заложенной в нее программе, в соответствии с которой она работает, следуя по заданному маршруту к местам погрузки и разгрузки, делая это в ограниченном по ширине движения

<sup>32</sup> Беспилотные БЕЛАЗы: роботы к работе готовы. Режим доступа: <https://st-kt.ru/articles/bespilotnye-belazy-roboty-k-rabote-gotovy> (дата обращения: 28.01.2019)

<sup>33</sup> Тетерина, И.А., Артеменко М.Н. Системы управления роботизированных строительно-дорожных машин: сборник материалов II Международной научно-практической конференции «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации». 2017. С. 61–64.

<sup>34</sup> Тетерина, И.А., Артеменко М.Н. Системы управления роботизированных строительно-дорожных машин: сборник материалов II Международной научно-практической конференции «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации». 2017. С. 61–64.

<sup>35</sup> Беспилотные грузовики: восстание машин началось. Режим доступа: <https://econet.ua/articles/6652-bespilotnye-gruzoviki-vosstanie-mashin-nachalos> (дата обращения: 16.11.2018).

коридоре, за границы которого не выйдет ни при каких обстоятельствах<sup>36</sup>.

МБРТК оснащены навигационными системами GPS/GLONASS, видеокамерами, радары, системой Lidar. Движение по заданному маршруту осуществляется за счет того, что машина постоянно обменивается данными с навигационной системой и с системой позиционирования самого карьера, а также сверяется с бортовой инерциальной системой позиционирования. Точность определения координат с помощью спутниковых систем составляет 99% (погрешность системы 2–3 см). При этом все 3 системы проверяют друг друга, а в случае необходимости дублируют друг друга.

### КОЛОННЫ МОБИЛЬНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

К основным достоинствам разработок компаний, работающих над созданием беспилотных грузовых автомобилей, относят:

- улучшение дорожной безопасности (снижение негативного влияния человеческого фактора, который является причиной 80% дорожно-транспортных происшествий);
- экономию топлива на 20%;
- работу водителей (присутствующие в ведомых машинах как наблюдатели) в более комфортных условиях;
- разгрузку автомобильных дорог в связи с возможностью уплотнения интервалов между автопоездами<sup>37</sup>.

Запрограммировав колонну из нескольких грузовиков, движущихся друг за другом на расстоянии не более четырех метров, японская компания по развитию энергетических промышленных технологий New Energy and

Industrial Technology Development Organization, NEDO успешно провела испытания, подтвердив значительную экономию топлива в результате внедрения беспилотных грузовиков. Сокращение расхода топлива достигается путем снижения сопротивления воздуха между автомобилями (рисунок 8, а)<sup>38</sup>.

В 2017 году немецкий автопроизводитель Daimler провел первые заезды колонн МБРТК из трех грузовиков Mercedes-Benz Actros на трассе Штутгарт-Роттердам (8, б)<sup>39</sup>.

Система автопилотирования Highway Pilot, представленная компанией Daimler, включает в себя большое количество датчиков, камеры видеонаблюдения и активные регуляторы скорости<sup>40</sup>. При неблагоприятных погодных условиях или отсутствии дорожной разметки электроника световыми или звуковыми сигналами дает команду водителю взять управления на себя, беспилотный грузовик автоматически останавливается<sup>41</sup>.

Движение в колонне обеспечивается с помощью системы автопилотирования Highway Pilot Connect, которая позволяет идущим друг за другом грузовикам обмениваться посредством беспроводной связи информацией о текущей ситуации на дороге [8]. Система гарантирует мгновенную передачу информации, поскольку следующие сзади грузовики всегда осведомлены о состоянии и действиях головного длинномера<sup>42</sup>.

При движении грузовиков на расстоянии 15 м друг от друга, вместо обычных 50 м, необходимых для грузовиков управляемых водителем, оптимизируется воздушный поток и уменьшается лобовое сопротивление для машин, следующих за ведущим автомобилем. Такое решение значительно снижает расход

<sup>36</sup> Беспилотные грузовики Mercedes-Benz отправились в поездку колонной. Режим доступа: <https://3dnews.ru/931035> (дата обращения: 26.12.2018).

<sup>37</sup> Беспилотные грузовики: восстание машин началось. Режим доступа: <https://econet.ua/articles/6652-bespilotnye-gruzoviki-vosstanie-mashin-nachalos> (дата обращения: 16.11.2018).

<sup>38</sup> Беспилотные грузовики Mercedes-Benz отправились в поездку колонной. – Режим доступа: <https://3dnews.ru/931035> (дата обращения: 26.12.2018).

<sup>39</sup> Беспилотные грузовики Mercedes-Benz отправились в поездку колонной. – Режим доступа: <https://3dnews.ru/931035> (дата обращения: 26.12.2018).

<sup>40</sup> Беспилотные грузовики: восстание машин началось. Режим доступа: <https://econet.ua/articles/6652-bespilotnye-gruzoviki-vosstanie-mashin-nachalos> (дата обращения: 16.11.2018).

<sup>41</sup> Беспилотные грузовики Mercedes-Benz отправились в поездку колонной. – Режим доступа: <https://3dnews.ru/931035> (дата обращения: 26.12.2018).

<sup>42</sup> Беспилотные грузовики появятся на российских дорогах летом. Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2018/03/21/driverless> (дата обращения: 25.12.2018).



а



б

Рисунок 8 – Движение МБРТК в колонне: а – Япония; б – Германия

Figure 8 – ICBT movement in the column: a – Japan; b – Germany

топлива и сокращает количество выбросов вредных газов в атмосферу<sup>43</sup>.

Немецкая фирма Gotting KG представила иную технологию автоматизированного управления автомобильной колонной, состоящей из нескольких самосвалов<sup>44</sup>. Ведущая машина колонны управляется профессиональным водителем, электронные устройства при этом отслеживают его действия и передают их по радиосвязи в виде команд контроллерам, установленным в следующих за ведущей машиной транспортных средствах. Все ведомые самосвалы оборудованы лазерными сканерами для контроля движения впереди идущего автомобиля<sup>45</sup>.

Разработки в области создания мобильных беспилотных колонн техники перспективны при решении задач:

- транспортировки сельскохозяйственных грузов,

- добычи полезных ископаемых в горнорудной промышленности,
- строительства дорог,
- перевозок в арктической зоне,
- перевозок грузов в опасных для жизни и здоровья человека условиях<sup>46,47</sup>.

#### ПРИМЕРЫ РОССИЙСКИХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

В 2016 году машиностроительный завод «КамАЗ» провел испытания первого беспилотного грузовика, созданного на базе серийного КамАЗ-5350 (рисунок 9, а). Машина разработана совместно с компаниями Cognitive Technologies и «ВИСТ Групп»<sup>48</sup>. МБРТК оснащен радиолокационными станциями, дальномером Lidar, видеокамерами, оборудован GPS-навигации, вычислительным блоком

<sup>43</sup> Беспилотные грузовики: восстание машин началось. Режим доступа: <https://econet.ua/articles/6652-bespilotnyegruzoviki-vosstanie-mashin-nachalos> (дата обращения: 16.11.2018).

<sup>44</sup> Беспилотные грузовики Mercedes-Benz отправились в поездку колонной. Режим доступа: <https://3dnews.ru/931035> (дата обращения: 26.12.2018).

<sup>45</sup> Беспилотные грузовики Mercedes-Benz отправились в поездку колонной. Режим доступа: <https://3dnews.ru/931035> (дата обращения: 26.12.2018).

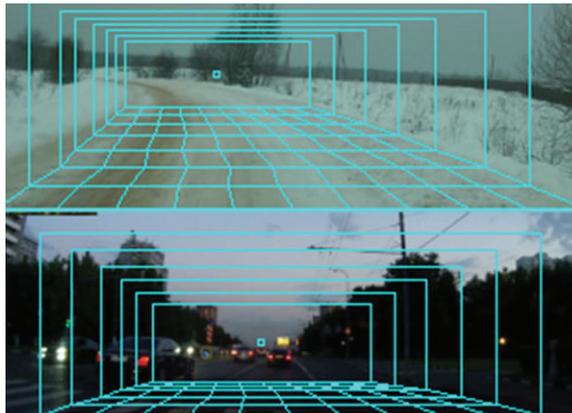
<sup>46</sup> О перспективах развития роботизированных комплексов различного назначения. Режим доступа: <http://government.ru/news/14804/> (дата обращения: 11.12.2018).

<sup>47</sup> Корчагин, П.А., Артеменко М.Н., Тетерина И.А. К вопросу о выборе системы управления роботизированным комплексом на базе строительно-дорожной машины: сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации». 2019. С. 67–70.

<sup>48</sup> Российские беспилотные автомобили получают фовеальное зрение. Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2015/09/10/look> (дата обращения: 25.12.2018).



а



б

Рисунок 9 – Роботизированный комплекс КАМАЗ:  
а – беспилотный грузовик на базе КамАЗ-5350;  
б – визуализация компьютерной модели фовеального зрения

Figure 9 – KAMAZ robotic complex:  
a – unmanned truck based on KamAZ-5350;  
b – visualization of the computer foveal vision model

и программным обеспечением. Кроме того, специалисты ОАО «КамАЗ» собрали мобильный пункт управления машиной<sup>49,50</sup>.

В рамках этого проекта была создана компьютерная модель фовеального зрения, которая позволяет МБРТК тратить на анализ видеоизображения дороги меньше вычислительных мощностей, а также позволяет быстрее и точнее распознавать особенности дороги и объектов на ней (рисунок 9, б)<sup>51</sup>.

Фовеальное зрение – особенность человеческого восприятия, когда четкое видение объектов возможно только в рамках довольно узкого угла зрения<sup>52</sup>. Зона фовеального зрения охватывает пространство, расположенное в центре и немного по сторонам от зрительной

оси глаза<sup>53, 54</sup>. Расходящийся угол такого зрения составляет в среднем всего один–два процента. Объекты, находящиеся за пределами фовеального восприятия, видятся нечеткими и размытыми и располагаются в зонах периферического зрения<sup>55</sup>.

#### АГРОТЕХНИКА РОСТСЕЛЬМАША С СИСТЕМОЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ COGNITIVE TECHNOLOGIES

В России разработками в области роботизации техники активно занимается компания Cognitive Technologies. Проект по созданию «умного» агрохолдинга «Агрополис» реализуется компанией совместно с производителем

<sup>49</sup> Российские беспилотные автомобили получают фовеальное зрение. Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2015/09/10/look> (дата обращения: 25.12.2018).

<sup>50</sup> «КамАЗ» начал испытания беспилотного грузовика – Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2015/06/04/driverless> (дата обращения: 01.12.2018).

<sup>51</sup> Российские беспилотные автомобили получают фовеальное зрение. Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2015/09/10/look> (дата обращения: 25.12.2018).

<sup>52</sup> Российские беспилотные автомобили получают фовеальное зрение. Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2015/09/10/look> (дата обращения: 25.12.2018).

<sup>53</sup> Российские беспилотные автомобили получают фовеальное зрение. Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2015/09/10/look> (дата обращения: 25.12.2018).

<sup>54</sup> «КамАЗ» начал испытания беспилотного грузовика – Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2015/06/04/driverless> (дата обращения: 01.12.2018).

<sup>55</sup> Российские беспилотные автомобили получают фовеальное зрение. Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2015/09/10/look> (дата обращения: 25.12.2018).



а



б

Рисунок 10 – Сельскохозяйственная техника:  
а – роботизированный комбайн;  
б – роботизированный трактор

Figure 10 – Agricultural machinery:  
a – robotic combine; b – robotic tractor

агротехники «Ростсельмаш» и агрохолдингом «Союз-Агро» на базе ОЭЗ «Иннополис»<sup>56</sup>.

В 2017 году успешно прошли полевые испытания беспилотного комбайна (рисунок 10, а), а летом 2018 года состоялись полевые испытания беспилотного трактора (рисунок 10, б), который способен самостоятельно убирать урожай зерновых, не выезжая за границы поля<sup>57</sup>.

Установленные на технику программно-аппаратные комплексы компьютерного зрения включают в себя:

- стереопару (состоящую из двух видеокамер);
- навигационные и инерционные датчики GPS/GLONASS;
- вычислительный блок<sup>58, 59</sup>.

Трактор оборудован дальномером Lidar, и это позволяет ему работать в темное время суток<sup>60</sup>. Одновременно с выполнением предпосевных работ (боронование, распыление удобрений) тракторами производится оцифровка посевных площадей и составляется карта рабочей площади (рисунок 11, а)<sup>61</sup>. Сбор данных осуществляется весной, когда посевные площади еще не засеяны и опасные объекты не скрыты в сельскохозяйственных культурах<sup>62</sup>. Накопленная на стадии сбора информация об опасных объектах вносится в карту (размером от 10–15 см на расстоянии до 15–20 м) и учитывается при сборе урожая (рисунок 11, б)<sup>63</sup>.

После составления карты машина может самостоятельно работать и учитывать данные об опасных объектах, даже если их не будет вид-

<sup>56</sup> Беспилотный трактор прошел тесты на полях в России. Режим доступа: <https://iz.ru/news/617516> (дата обращения 21.12.2018).

<sup>57</sup> Промышленная робототехника в России. Краткий обзор роботизации, проблем и перспектив внедрения промышленных роботов на отечественных предприятиях. Режим доступа: [http://www.umpro.ru/index.php?art\\_id\\_1=395&group\\_id\\_4=92&page\\_id=17](http://www.umpro.ru/index.php?art_id_1=395&group_id_4=92&page_id=17) (дата обращения: 15.12.2018).

<sup>58</sup> Беспилотный трактор прошел тесты на полях в России. Режим доступа: <https://iz.ru/news/617516> (дата обращения 21.12.2018).

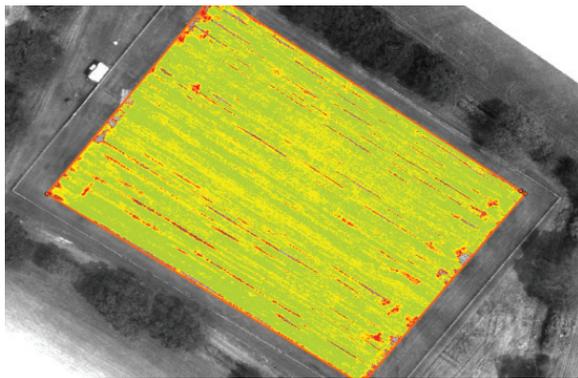
<sup>59</sup> Промышленная робототехника в России. Краткий обзор роботизации, проблем и перспектив внедрения промышленных роботов на отечественных предприятиях. Режим доступа: [http://www.umpro.ru/?art\\_id\\_1=395&group\\_id\\_4=92&page\\_id=17](http://www.umpro.ru/?art_id_1=395&group_id_4=92&page_id=17) (дата обращения: 27.01.2019).

<sup>60</sup> Беспилотный трактор прошел тесты на полях в России. Режим доступа: <https://iz.ru/news/617516> (дата обращения: 21.12.2018).

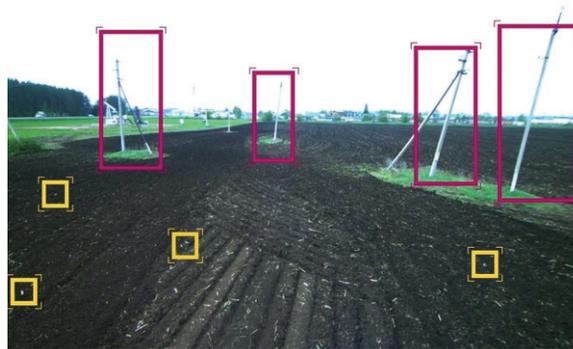
<sup>61</sup> Agrobot беспилотный трактор. Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 13.02.2019).

<sup>62</sup> Agrobot беспилотный трактор. Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 13.02.2019).

<sup>63</sup> Agrobot беспилотный трактор. Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 13.02.2019).



а



б

Рисунок 11 – Работа системы Cognitive Technologies:  
а – составление карты рабочей площади;  
б – составление карты опасных объектов

Figure 11 – Operation of Cognitive Technologies:  
a – mapping of the working area;  
b – mapping of hazardous objects

но, например при сборке урожая или при движении в условиях недостаточной видимости<sup>64,65</sup>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение МБРТК в строительную и дорожную отрасли иностранных государств явление более распространенное, чем в Российской Федерации. Хотя обзор литературы позволяет сделать вывод о том, что мобильные беспилотные роботизированные комплексы гражданского назначения – одна из приоритетных задач государственной политики Российской Федерации.

Зарубежные автопроизводители ведут разработки МБРТК следующего назначения:

- автотранспортные средства двойного назначения;
- техника для охраны территорий по периметру (передвижные средства охраны и наблюдения);
- строительно-дорожные машины (бульдозеры, экскаваторы, грейдеры, краны и т.д.);
- техника для чрезвычайных ситуаций (машины скорой помощи, спецтехника, пожарные машины, внедорожные транспортные средства и т.д.);
- техника для обеспечения спортивных мероприятий на кортах для гольфа, в парках и т.п. [7].

Можно отметить ряд причин, по которым на данный момент невозможно повсеместное внедрение колонн МБРТК на дорогах общего пользования. К таким причинам относят: сложность внедрения МБРТК в существующую структуру дорожного транспорта; предотвращение столкновений между МБРТК и автомобилями с водителями; недостаточную надежность работы датчиков оперативного реагирования на меняющиеся погодные и дорожные условия (скольжения и повороты).

Несмотря на многообразие роботизированных комплексов, видимые различия в их устройстве, принципах работы и функциональном назначении, можно выделить ряд общих элементов, являющихся основой мобильных беспилотных роботизированных комплексов, которые в самом общем виде можно объединить в блоки:

1. Система навигации и позиционирования.
2. Информационная система.
3. Управляющая система.
4. Исполнительная система [9].

Приведенный в статье обзор МБРТК еще раз подтвердил, что современная робототехника сегодня способна решать очень разные задачи. Внедрение роботизированных комплексов в гражданскую промышленность способно вывести на новый уровень не только

<sup>64</sup> Беспилотный трактор прошел тесты на полях в России. Режим доступа: <https://iz.ru/news/617516> (дата обращения: 21.12.2018).

<sup>65</sup> Agrobot беспилотный трактор. Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 13.02.2019).

производительность и качество продукции, но и значительно улучшить условия труда, повысив уровень безопасности на рабочем месте работников.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Нгуен Т.Н., Голь С.А., Погудаев А.А. Аппаратное обеспечение беспилотной системы управления автомобилем с механической коробкой передач // Вестник рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 4 (вып. 46) Ч.3. С.12–18.

2. Колтыгин Д.С., Седельников И.А. Выбор методики разработки программного обеспечения для роботов-манипуляторов // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2017. Т. 2. С. 46–51.

3. Нагайцев М.В., Сайкин А.М., Ендачев Д.В. «Беспилотные» автомобили – этапы разработки и испытаний // Журнал автомобильных инженеров. 2012. № 5 (76). С. 32–39.

4. Korchagin P.A., Letopolskiy A.B., Teterina I.A. Result of research of working capability of refined pipelayer // Aviamechanical engineering and transport (AVENT 2018): proceedings of the international conference, Irkutsk, Russia, 21-26 may 2018 Volume 158. Pp. 416–420. DOI: <https://doi.org/10.2991/avent-18.2018.80>.

5. Колтыгин Д.С. Седельников И.А. Классификация систем управления робототехническими комплексами // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2016. Т. 1. С. 71–73.

6. Черепанов П.Ю., Романов П.А. Основные направления развития робототехники // Современные инновации. 2017. № 1 (15). С. 29–38.

7. Горячев О.В., Фимушкин В.С., Чуканов К.П. Мобильные сухопутные робототехнические комплексы – основные определения и классификационные признаки, направления и проблемы в создании и применении // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. № 12. Ч. 4. С. 139–151.

8. Половко С.А., Попов А.В. Перспективы применения гибридных групп мобильных роботов специального назначения // Экстремальная робототехника. 2018. С. 25–33.

9. Meshcheryakov V.A., Denisov L.A. Computer-aided design of the fuzzy control system using the genetic algorithm // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). 2016. Ст. 7819000. DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7819000

#### **REFERENCES**

1. Nguen T.N., Gol' S.A., Pogudaev A.A. Apparatus obespechenie bespilotnoj sistemy upravlenija avtomobilem s mehanicheskoj korobkoj peredach [Hardware of pilotless control system of the car with mechanical gear box]. *Vestnik rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2013; 4 (vyp. 46) Ch.3: 12–18 (in Russian).

2. Kolytgin D.S., Sedel'nikov I.A. Vybora metodiki razrabotki programmno obespechenija dlja robotov-manipuljatorov [Choice of the software development technique for robotic manipulators]. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Estestvennye i inzhenernye nauki*. 2017; T. 2: 46–51 (in Russian).

3. Nagajcev M.V., Sajkin A.M., Endachjov D.V. "Bespilotnye" avtomobili - jetapy razrabotki i ispytanij [Pilotless cars: development stages and tests]. *Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov*. 2012; 5 (76): 32–39 (in Russian).

4. Korchagin P.A., Letopolskiy A.B., Teterina I.A. Result of research of working capability of refined pipelayer. Aviamechanical engineering and transport (AVENT 2018): proceedings of the international conference, Irkutsk, Russia, 21-26 may 2018 Volume 158. Pp. 416-420. DOI: <https://doi.org/10.2991/avent-18.2018.80>.

5. Kolytgin D.S. Sedel'nikov I.A. Klassifikacija sistem upravlenija robototekhnicheskimi kompleksami [Classification of control systems of robotic complexes]. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Estestvennye i inzhenernye nauki*. 2016; T. 1: 71–73 (in Russian).

6. Cherepanov P.Ju., Romanov P.A. Osnovnye napravlenija razvitija robototekhniki [Main directions of the robotics' development]. *Sovremennye innovacii*. 2017; 1 (15): 29–38 (in Russian).

7. Gorjachev O.V., Fimushkin V.S., Chukanov K.P. Mobil'nye suhoputnye robototekhnicheskie komplekсы - osnovnye opredelenija i klassifikacionnye priznaki, napravlenija i problemy v sozdanii i primenenii [Mobile overland robotic complexes: main definitions and classification signs, the directions and problems in creation and application]. *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki*. 2016; 12. Ch. 4: 139–151 (in Russian).

8. Polovko S.A., Popov A.V. Perspektivy primenenija gibridnyh grupp mobil'nyh robotov special'nogo naznachenija [Prospects of the hybrid groups' use of special purpose mobile robots]. *Jekstremal'naja robototekhnika*. 2018: 25–33 (in Russian).

9. Meshcheryakov V.A., Denisov L.A. Computer-aided design of the fuzzy control system

using the genetic algorithm. Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). 2016. St. 7819000. DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7819000

**Поступила 26.03.2019 , принята к публикации 27.08.2019.**

**Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

*Артеменко Максим Николаевич – инженер, Сотое военное представительство, г. Омск, ORCID 0000-0003-0596-3888 (644021, г. Омск, Б.Хмельницкого, 226).*

*Корчагин Павел Александрович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод», ФГБОУ ВО «СибАДИ» ORCID 0000-0001-8936-5679 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5).*

*Тетерина Ирина Алексеевна – канд. техн. наук, научный сотрудник научно-исследовательского отдела ФГБОУ ВО «СибАДИ» ORCID 0000-0001-8012-8511 (644080, г. Омск, e-mail: iateterina@mail.ru).*

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*Maxim N. Artemenko – Engineer, Omsk Military Representation Number Hundred, ORCID 0000-0003-0596-3888 (644021, Omsk, 226, Khmelniysky Blvd.).*

*Pavel A. Korchagin – Doctor Of Technical Sciences, Professor of the Department of Hoisting and Transport Machines and Hydraulic Actuators, Researcher of the Scientific Research Department, Siberian State Automobile and Highway University, ORCID 0000-0001-8936-5679 (644080, Omsk, 5, Mira Ave.).*

*Irina A. Teterina – Candidate of Technical Sciences, Researcher of the Scientific Research Department, Siberian State Automobile and Highway University, ORCID 0000-0001-8012-8511 (644080, Omsk, e-mail: iateterina@mail.ru).*

#### **ВКЛАД АВТОРОВ**

*Каждый автор внес равную долю участия в теоретические разделы статьи.*

#### **AUTHORS' CONTRIBUTION**

*Each author has equal share in theoretical sections of the manuscript.*