

## Концепция транспортной системы мобильного робота для экстремальных условий

Р.Ю. Добрецов<sup>1a</sup>, С.Б. Добрецова<sup>1b</sup>, В.А. Соколова<sup>2c</sup>, А.А. Ореховская<sup>3d</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Военная академия связи им. С.М. Буденного, пр. Тихорецкий, 3, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, ул. Вавилова, 1, пос. Майский, Белгородская обл., Россия

<sup>a</sup> dr-idpo@yandex.ru, <sup>b</sup> sdobretsova@mail.ru, <sup>c</sup> sokolova\_vika@inbox.ru, <sup>d</sup> orehovskaja\_aa@bsaa.edu.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3827-0220>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8509-2105>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>, <sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8149-7191>

Статья поступила 06.04.2022, принята 28.04.2022

*В статье рассматривается концепция транспортной системы высокоподвижной необитаемой роботизированной гусеничной платформы малой или средней массы для работы в экстремальных условиях (зоны техногенных катастроф, боевых действий и др.). Актуальность темы определена ростом потребностей специальных служб и армии в высокоманевренных мобильных роботах, способных нести полезную нагрузку (разведывательное оборудование, манипуляторы и т. д.), обладающих высокой проходимостью на местности. Цель работы — обеспечение высокой управляемости гусеничной платформы с электромеханической трансмиссией. Для увеличения защищенности платформы от внешних воздействий предусмотрено использование облегченной металлической гусеницы, металлоупругих опорных катков, бортовых экранов. Платформа предназначена для работы в составе гетерогенной группы, но может использоваться отдельно. Электромеханическая трансмиссия работает с одним тяговым двигателем. Для снижения массогабаритных характеристик электрического двигателя предусмотрено наличие двухрежимного планетарного редуктора (коробки диапазонов). Основу трансмиссии составляет планетарный механизм передачи и поворота. Реализуются два режима поворота: с рекуперацией мощности (радиусы — от бесконечности до минимального) и без рекуперации (нулевой радиус). Плавное изменение значения радиуса поворота предложено получить за счет использования замкнутой системы контроля буксования фрикционных элементов управления в трансмиссии. Предложенная схема трансмиссии с целью увеличения автономности платформы может быть адаптирована для работы в составе последовательного и параллельного гибрида. Вариант параллельного гибрида позволяет дополнительно повысить надежность привода и улучшить динамические характеристики за счет возможности кратковременного параллельного использования теплового и электрического двигателей на привод ведущих колес.*

**Ключевые слова:** трансмиссия; коробка передач; распределение мощности; гибрид; гусеничные машины.

## Concept of mobile robot transport system for extreme conditions

R.Yu. Dobretsov<sup>1a</sup>, S.B. Dobretsova<sup>1b</sup>, V.A. Sokolova<sup>2c</sup>, A.A. Orekhovskaya<sup>3d</sup>

<sup>1</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; 29, Polytechnicheskaya St., St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Military Academy of Communications named after S.M. Budenny; 3, Tikhoretsky Pros., St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin; Belgorod region, Maysky, 1, Vavilov St., Russia

<sup>a</sup> dr-idpo@yandex.ru, <sup>b</sup> sdobretsova@mail.ru, <sup>c</sup> sokolova\_vika@inbox.ru, <sup>d</sup> orehovskaja\_aa@bsaa.edu.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3827-0220>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8509-2105>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>, <sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8149-7191>

Received 06.04.2022, accepted 28.04.2022

*The article considers the concept of a transport system of a highly mobile uninhabited robotic caterpillar platform of small or medium mass for working in extreme conditions (zones of man-made disasters, military operations, etc.). The relevance of the topic is determined by the growing needs of special services and the army in highly maneuverable mobile robots capable of carrying payloads (reconnaissance equipment, manipulators, etc.) with high cross-country capability. The purpose of the work is to provide high controllability of the track platform with electromechanical transmission. To increase the platform protection against external influences, the use of a lightweight metal track, metal-elastic support rollers, and on-board screens is provided. The platform is designed to work as part of a heterogeneous group, but can be used separately. Electromechanical transmission operates with one traction motor. To reduce the weight and size characteristics of the electric engine, a two-mode planetary reduction gear box (range box) is provided. The base of the transmission is a planetary transmission and rotation mechanism. Two turning modes are implemented: with power recovery (radii - from infinity to minimum) and without recovery (zero radius). A smooth change in the rotation radius value is proposed due to the use of a closed system for monitoring the slip of friction controls in the transmission. The proposed transmission scheme for increasing platform autonomy can be adapted for operation as part of a serial and parallel hybrid. Version of parallel hybrid makes it possible to fur-*

*ther increase reliability of drive and improve dynamic characteristics due to possibility of short-term parallel use of thermal and electric motors on drive wheels.*

**Keywords:** powertrain; gearbox; power distribution; hybrid; tracked vehicles.

**Введение.** Повышение надежности электронных и электромеханических компонент позволило не только внедрить мехатронные системы в серийное производство, например, транспортных машин, но привело к появлению специальной техники, использующей для самопередвижения электромеханический привод. Применение «электротяги» было вынужденной мерой при создании планетоходов, но на современном этапе развитие технологий позволяет использовать данный принцип при проектировании мобильных платформ, предназначенных для работы в экстремальных условиях (зоны техногенных катастроф, боевых действий и др.).

Применительно к автономным и дистанционно управляемым мобильным роботам принято говорить о транспортной системе. Транспортная система должна обеспечить передвижение робота в заданных условиях эксплуатации с надлежащим качеством управления движением. При решении задач, связанных с высокой динамикой изменения параметров внешней среды и наличием организованного противодействия, требования к транспортной системе робота начинают приближаться к требованиям к подсистемам шасси транспортной машины с тем важным отличием, что шасси робота является необитаемым. Это отличие определяет и требования к гашению колебаний корпуса машины, и подход к общей компоновке, и схему защиты систем от внешних воздействий. Строго говоря, шасси малогабаритного робота для работы в экстремальных условиях нецелесообразно создавать на базе серийно выпускаемых шасси обитаемых машин. Что, однако, не исключает возможности использования узлов и агрегатов, разработанных для таких машин.

При работе в оговоренных условиях важнейшей характеристикой транспортной системы становится способность к совершению оперативного маневра на местности, что не свойственно ни планетоходам, ни дистанционно управляемым инженерным машинам. Необходимо быстро набрать скорость, чтобы уйти с места обнаружения; обеспечить качественное управление поворотом, чтобы иметь возможность оперативно и безопасно изменить траекторию движения; обеспечить достаточную проходимость (как опорно-сцепную, так и геометрическую).

Таким образом, платформа нуждается в электромеханической трансмиссии и гусеничном движителе. Последний обладает меньшим КПД по сравнению с колесным, но при более простой конструкции трансмиссии обеспечивает более высокие тягово-сцепные свойства. Данная тенденция прослеживается и для транспортных машин и для планетоходов.

В настоящее время в эксплуатации находится достаточно много необитаемых двухгусеничных машин, рамочно удовлетворяющих таким требованиям (например, РТК-07 (ЦНИИ РТК, Россия); «Варан» (МГТУ им. Баумана, Россия), шасси «Нерехта» и машины серии «Уран» (Россия); Talon (QinetiQ NA, США); MPRS/URBOT (SPAWAR Systems Center San Diego,

США); Matilda (Mesa Robotics, США); Dragon Runner DR10/DR20 (QinetiQ NA, США) и др.).

Специфика расчетов при проектировании бортовых редукторов и бортовых тяговых электродвигателей традиционно предполагает дополнительный примерно 15%-ный запас мощности. Это означает, что при использовании одного тягового электродвигателя и эффективно работающего механизма передачи и поворота для транспортной системы с бортовым управлением поворотом можно рассчитывать либо на снижение мощности центрально расположенного двигателя, либо на увеличение динамических характеристик шасси.

Признанным преимуществом бортового управления поворотом считается простота. Бортовое управление поворотом типично в первую очередь для гусеничных машин, но применяется и на колесных транспортно-технологических шасси. Известны типичные примеры использования этого способа для тракторов, лесных гусеничных машин, гусеничных транспортеров различного назначения.

Существенными недостатками традиционных конструкций бортовых механизмов поворота являются плохая управляемость и низкая энергоэффективность. В этом отношении бортовые механизмы поворота существенно уступают дифференциальным. Сложные и дорогостоящие двухпоточные дифференциальные механизмы поворота различных конструкций применяются на быстроходных гусеничных машинах. Как частный случай, высокое качество управления поворотом при относительно малом увеличении себестоимости изготовления трансмиссии позволило получить двухпоточные трансмиссии на основе фрикционного механизма поворота для гусеничных машин. Имеются перспективные предложения в области электромеханических трансмиссий для легких машин, разработаны концепции механизмов поворота с нелинейной характеристикой. Но ввиду высокой сложности и себестоимости производства таких трансмиссий целесообразным представляется внедрение известных или синтез новых схем механизмов распределения мощности, позволяющих обеспечить контроль над силами тяги по бортам в диапазоне используемых режимов эксплуатации мобильной платформы.

Таким образом, созрело достаточно предпосылок к поиску комплексного решения по улучшению подвижности и, в частности, управляемости необитаемых гусеничных платформ, работающих в экстремальных условиях эксплуатации.

*Постановка задачи.* Целью работы является обеспечение высокой управляемости гусеничной платформы с электромеханической трансмиссией.

Для достижения цели решаются следующие задачи.

1. Определение структуры трансмиссии.
2. Выбор методики расчетного определения основных параметров трансмиссии.
3. Указание рациональных путей развития предложенной концепции.

**Результаты теоретических исследований.** Предлагаемая концепция предусматривает создание высококомбинированного одноосеционного шасси робота на гусеничном ходу (используется традиционный двухгусеничный движитель).

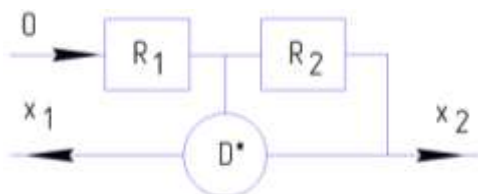
Гусеница — металлическая штампованная или гнuto-сварная (при малых объемах выпуска шасси), с шарниром параллельного типа, использующая цевочное зацепление. Беговая дорожка гусеницы — металлическая. Опорные катки могут быть выполнены в виде металлоупругих колес (методики расчета основных параметров таких узлов рассмотрены, например, в монографии [1]). Ведущие колеса расположены спереди. Направляющее колесо отсутствует. Натяжение гусеницы осуществляется за счет перемещения единственного поддерживающего катка. Механизм натяжения — червячный, с механическим приводом. Для снижения уязвимости к внешним воздействиям ходовая часть платформы защищается бортовыми экранами, выполненными из кевлара на алюминиевом или стальном каркасе.

Система поддрессорования, характерная для обитаемых транспортных гусеничных машин, не предусматривается. Специальное оборудование монтируется на виброизолированной платформе, а для систем наблюдения и вооружения используется двухплоскостная гиросtabilизация.

Трансмиссия — электромеханическая, с центрально расположенным тяговым электродвигателем и механизмом передачи и поворота, обеспечивающим плавное изменение радиусов поворота платформы в основном диапазоне и режим поворота с нулевым радиусом.

Масса платформы не превышает 800 кг (что достаточно для осуществления доставки грузов, размещения разведывательного оборудования и систем стрелкового вооружения). Это позволяет классифицировать ее по массе как «среднюю»; отнести к «средним», исходя из ожидаемых основных размеров (ширина колеи — около 1,2 м; длина опорной поверхности — 1,2...1,3 м). По зарубежным классификациям платформа также относится к средним, доставляемым к месту работы с помощью обычных грузовых автомобилей или специализированных машин.

К настоящему времени известен ряд эффективных технических решений по управляемым механизмам распределения мощности и перспективным механизмам поворота гусеничных машин. Анализ топологии этих механизмов позволяет предложить обобщенную структуру механизма передачи и поворота, представленную на рис. 1.



**Рис. 1.** Структура механизма передачи и поворота: 0,  $x_1$  и  $x_2$  — входное и выходные звенья редукторной части;  $R_{1, 2}$  — редукционные модули;  $D^*$  — распределительный механизм с функцией простого дифференциала

Трансформирующая часть механизма состоит из модулей  $R_1$  и  $R_2$ . Дистрибутивная часть механизма представлена симметричным управляемым дифференциалом.

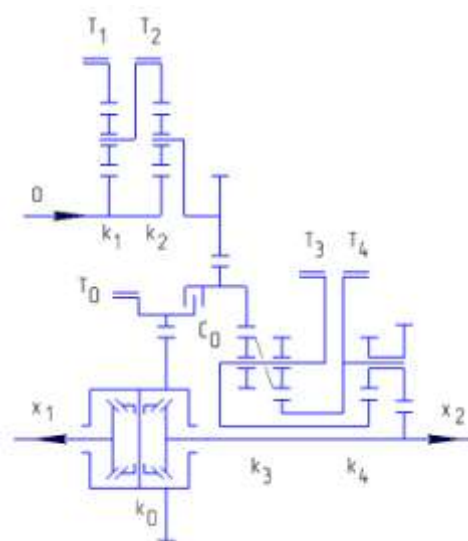
Выходное звено редуктора  $R_1$  связано с ведущим звеном редуктора  $R_2$  и коробкой дифференциала. Выходное звено редуктора  $R_2$  связано с одной из полуосей. Как и в традиционных конструкциях трансмиссий колесных машин, полуоси являются выходными звеньями дифференциала.

Редуктор  $R_1$  предложен с целью снижения массогабаритных характеристик тягового электродвигателя. В большинстве случаев редуктор  $R_1$  целесообразно выполнять двухступенчатым (далее будут рассмотрены рекомендации по выбору передаточного отношения ступеней).

Редуктор  $R_2$  обеспечивает распределение сил тяги по ведущим колесам, следствием чего является изменение радиуса поворота платформы. Плавность изменения радиуса поворота может быть обеспечена за счет контролируемого буксования фрикционных элементов управления механизма передачи и поворота. Эффективно работающая система контроля буксования должна быть замкнутой. В качестве датчиков обратной связи предусматривается использование индукционных датчиков или датчиков Холла. Возможно использование датчика угловой скорости поворота платформы.

Управление дифференциалом  $D^*$  позволяет осуществить три режима работы трансмиссии: прямолинейное движение с использованием симметричного дифференциала (циркуляция мощности между бортами отсутствует); поворот в заданном диапазоне радиусов (рекуперация мощности возможна); поворот с нулевым радиусом.

На основе обобщенной схемы предложена конкретная кинематическая схема трансмиссии (рис. 2; условно не показаны остановочные тормоза и колесные редукторы) (защищена патентом РФ).



**Рис. 2.** Вариант схемы трансмиссии мобильной платформы с выделенным коническим дифференциалом (остановочные тормоза и бортовые редукторы не показаны): 0,  $x_1$  и  $x_2$  — входное и выходные звенья редукторной части;  $T_{0,1...4}$  — тормоза;  $C_{0,1}$  — блокирующие муфты;  $k_{0,1...4}$  — кинематические параметры планетарных рядов

Основным узлом агрегата является механизм распределения мощности. Последний состоит из трех планетарных рядов. Два ряда обеспечивают управление поворотом в диапазоне от прямолинейного движения до минимального заданного радиуса. При этом сохраняется возможность рекуперации мощности. Третий ряд представлен в виде простого дифференциала.

Элементами управления являются дисковые тормоза и блокирующие муфты, связанные с основными звеньями механизма.

Муфта  $C_0$  предназначена для переключения режимов поворота между плавно регулируемым и нулевым радиусами. Данная муфта дополнительно может быть использована для длительного отключения двигателя от ведущих колес (например, в случае буксировки платформы).

Муфта  $C_1$  предназначена для блокировки механизма с целью обеспечения максимальной опорно-цепной проходимости при прямолинейном движении.

Тормоза могут работать в режиме управляемого буксования, что позволит плавно изменять радиус поворота.

Значения кинематических параметров планетарных механизмов  $k_1$  и  $k_2$  в составе редуктора  $R_1$  определяются на основе рекомендаций, например, статьи.

Передаточное отношение редуктора  $R_1$  на первой передаче принимается по условию реализации максимальной силы тяги на ведущих колесах:

$$u_{ТЭД1} = \left( P \cdot r_{ВК} / (u_{тр} \eta_{тр}) \right) / (M_{ТЭД} \cdot \eta_p)$$

Передаточное отношение редуктора  $R_1$  на второй передаче принимается по условию реализации максимальной скорости самопередвижения платформы:

$$u_{ТЭД2} = \left( \psi \cdot G \cdot r_{ВК} / (u_{тр} \eta_{тр}) \right) / (M_{ТЭД} \cdot \eta_p)$$

В этих зависимостях  $\psi$  — коэффициент сопротивления движению;  $G$  — вес платформы;  $u_{тр}$  и  $\eta_{тр}$  — передаточное отношение и КПД трансмиссии (от выхода из редуктора  $R_1$  до ведущего колеса);  $\eta_p$  — КПД редуктора  $R_1$ .

Значения  $k_3 = 2,05$  и  $k_4 = 2,37$  предложены для минимального относительного радиуса поворота плат-

формы  $\rho = 2,78$ . Такое значение позволяет гарантировать, что с возможностью рекуперации мощности будут реализованы относительные радиусы  $\rho = 3 \dots 4$ , характерные для режима самопередвижения транспортно-технологических гусеничных машин.

Относительный радиус поворота и передаточное отношение механизма распределения мощности связаны зависимостями:  $\rho = 0.5(u+1)/(u-1)$  и  $u = (\rho+0.5)/(\rho-0.5)$ , где  $u = V_2/V_1$  — передаточное отношение механизма распределения мощности;  $V_2$  и  $V_1$  — линейные скорости наружного и внутреннего бортов.

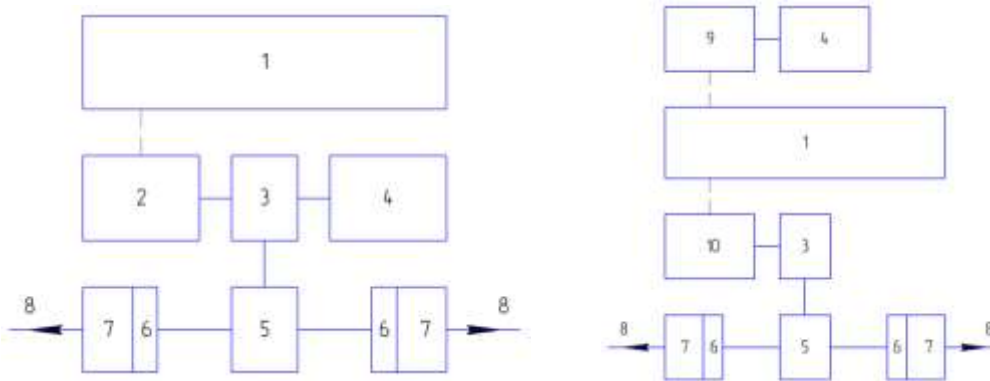
Выбор кинематической схемы редуктора  $R_2$  с двумя степенями свободы и проектирование выполняются по традиционной методике.

В рамках данной концепции подразумевается применение реверсивного тягового электродвигателя.

Тормоз  $T_0$  может выполнять функцию стояночного или аварийного тормоза.

**Практические следствия и перспективы.** Предложенные технические решения возможно реализовать в условиях индивидуального и мелкосерийного производства, используя комплектующие для серийно выпускаемых автомобилей. При серийном производстве целесообразно обратиться к технологиям, используемым в военно-промышленном комплексе.

Повысить автономность платформы можно за счет использования принципа последовательного гибрида, предусмотрев установку теплового двигателя и генератора (рис. 3). Такое решение усложнит конструкцию и увеличит массу робота, поэтому более целесообразны реализация параллельного гибрида и использование обратимой электрической машины. В этом случае тепловой двигатель опосредованно связан с ведущими колесами и может обеспечить движение платформы в то время, когда обратимая электрическая машина находится в генераторном режиме. Управление поворотом при этом реализуется в штатном режиме за счет возможностей механизма передачи и поворота. Такой режим движения можно использовать и при отказе электрической машины, что повышает надежность платформы.



**Рис. 3.** Гибридная силовая передача: «параллельный гибрид» — слева; «последовательный гибрид» — справа. 1 — бортовой накопитель энергии; 2 — обратимая электрическая машина; 3 — коробка диапазонов; 4 — тепловой двигатель; 5 — механизм распределения мощности; 6 — остановочный тормоз; 7 — бортовая передача; 8 — отвод мощности к ведущим колесам; 9 — тяговый электрический генератор; 10 — тяговый электродвигатель

Платформа может использоваться в режиме дистанционного управления при решении отдельных задач (одна или в паре с беспилотным летательным аппаратом (БПЛА)). Для работы с БПЛА предложен вариант автоматической замены бортовых источников питания летательного аппарата, что повышает время автономной работы шасси.

При рекогносцировке местности, создании карт проходимости, проведении мероприятий по радиохимической разведке и др. целесообразно использовать двухкомпонентные мультиагентные группы, состоящие из наземных роботов и БПЛА и работающие в режиме группового управления (предпочтительно использовать комбинированные стратегии управления, позволяющие выбирать стратегии централизованного иерархического

или децентрализованного коллективного управления в зависимости от развития ситуации).

#### Выводы

1. Рассмотренные технические решения позволяют обеспечить высокую подвижность робота на местности.

2. Применение последовательного гибрида дает возможность увеличить автономность транспортной системы.

3. Использование параллельного гибрида даст дополнительные преимущества по живучести машины за счет усложнения конструкции трансмиссии.

4. Использование БПЛА в паре с наземным шасси может существенно увеличить эффективность робототехнического комплекса.

#### Литература

1. Громов В.В., Забавников Н.А., Кемурджиан А.Л. Перемещение по грунтам Луны и планет. М.: Машиностроение, 1986. 267 с.
2. Веселов Н.Б. Вездеходные транспортно-технологические машины. Конструкция, проектирование и расчет: моногр. Н. Новгород: РИ «Бегемот», 2010. 320 с.
3. Wong J.Y. Theory of ground vehicles. 3rd ed., 2001. 528 p.
4. Васильев А.В. Робототехнические комплексы разработки ЦНИИ РТК для обследования, локализации, транспортировки и уничтожения потенциально взрывоопасных объектов // Вопросы оборонной техники. 2009. Вып. 1-2. С. 21-29.
5. Лопота А.В., Юдин В.И., Юревич Е.И. Исследования и разработки ЦНИИ РТК по экстремальной робототехнике // Сб. докл. междунар. науч.-технической конф. (23-25 нояб. 2011 г.). СПб.: Политехника-сервис, 2011. С. 21-25.
6. Зеленцов В.В., Медveckий С.В., Космачев П.В. Современные робототехнические комплексы специального назначения // Экстремальная робототехника: сб. докл. междунар. науч.-технической конф. (23-25 нояб. 2011 г.). СПб.: Политехника-сервис, 2011. С. 53-54.
7. Unmanned Ground Systems Roadmap ADDENDUM (July 2012) / Robotic Systems Joint Project Office. USA, 2012. 35 p. Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://amrel.com/wp-content/uploads/2013/01/RSJPO-Unmanned-Ground-Systems-Roadmap-2012.pdf> (дата обращения: 19.02.2022).
8. Космачёв П.В. Анализ конструктивных схем движителей транспортных средств робототехнических комплексов для выполнения антитеррористических операций // Актуальные проблемы защиты и безопасности: тр. девятой Всерос. науч.-практической конф. СПб.: НИО Спец. материалов, 2006. Т. 5: Экстремальная робототехника. С. 607-615.
9. Response Robots: DHS/NIST Sponsored Evaluation Exercises (Pocket Guide, Version 2010.2) / NIST // NIST.GOV: сайт National Institute of Standards and Technology. 231 p. USA, 2010. Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://www.nist.gov/el/isd/ms/upload/2010\\_RobotGuide.pdf](http://www.nist.gov/el/isd/ms/upload/2010_RobotGuide.pdf) (дата обращения: 19.02.2022).
10. Носов Н.А. Расчет и проектирование гусеничных машин. Л.: Машиностроение, 1972. 559 с.
11. Ксенеvич И.П., Гуськов В.В., Бочаров Н.Ф. Тракторы. Проектирование, проектирование и расчет. М.: Машиностроение, 1991. 544 с.
12. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
13. Ogorkiewicz R. Technology of Tanks, London: Jane's Information Group, Ltd., 1991.
14. Demidov N.N. Friction Steering Devices as an Object of Impulse Control. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2020. P. 49-62.
15. Dobretsov R.Y., Uvakina D.V. The Mechatronic Device Impulse Control in Vehicle Powertrains. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2020. P. 63-73.

#### References

1. Gromov V.V., Zabavnikov N.A., Kemurdzhian A.L. Movement on the soils of the Moon and planets. M.: Mashinostroyeniye, 1986. 267 p.
2. Veselov N.B. All-terrain transport and technological machines. Design, design, and calculation: monogr. N. Novgorod: RI «Begemot», 2010. 320 p.
3. Wong J.Y. Theory of ground vehicles. 3rd ed., 2001. 528 p.
4. Vasil'ev A.V. Robotic complexes developed by the Central Research Institute of RTK for the inspection, localization, transportation and destruction of potentially explosive objects // Issues of defense equipment // Military Engineering. 2009. Vyp. 1-2. P. 21-29.
5. Lopota A.V., YUdin V.I., YUreвич E.I. Research and development of the Central Research Institute of RTK in extreme robotics // Sb. dokl. mezhdunar. nauch.-tekhneskoj konf. (23-25 noyab. 2011 g.). SPb.: Politekhnikha-servis, 2011. P. 21-25.
6. Zelencov V.V., Medveckij S.V., Kosmachev P.V. Modern Special-Purpose Robotics Complexes // Ekstremal'naya robototekhnika: sb. dokl. mezhdunar. nauch.-tekhneskoj konf. (23-25 noyab. 2011 g.). SPb.: Politekhnikha-servis, 2011. P. 53-54.
7. Unmanned Ground Systems Roadmap ADDENDUM (July 2012) / Robotic Systems Joint Project Office. USA, 2012. 35 p. Sistemnye trebovaniya: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://amrel.com/wp-content/uploads/2013/01/RSJPO-Unmanned-Ground-Systems-Roadmap-2012.pdf> (data obrashcheniya: 19.02.2022).
8. Kosmachyov P.V. Analysis of design schemes of vehicle propellers of robotic systems for anti-terrorist operations // Aktual'nye problemy zashchity i bezopasnosti: tr. devyatoj Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. SPb.: NPO Spec. materialov, 2006. V. 5: Ekstremal'naya robototekhnika. P. 607-615.
9. Response Robots: DHS/NIST Sponsored Evaluation Exercises (Pocket Guide, Version 2010.2) / NIST // NIST.GOV: sayt National Institute of Standards and Technology. 231 p. USA, 2010. Sistemnye trebovaniya: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://www.nist.gov/el/isd/ms/upload/2010\\_RobotGuide.pdf](http://www.nist.gov/el/isd/ms/upload/2010_RobotGuide.pdf) (data obrashcheniya: 19.02.2022).
10. Nosov N.A. Calculation and design of caterpillar machines. L.: Mashinostroyeniye, 1972. 559 p.
11. Ksenevich I.P., Gus'kov V.V., Bocharov N.F. Tractors. Design, design, and calculation. Textbook for students of engineering specialties challenge. M.: Mashinostroyeniye, 1991. 544 p.
12. SHaripov V.M. Design and calculation of tractors. 2-e izd. pererab. i dop. M.: Mashinostroyeniye, 2009. 752 p.
13. Ogorkiewicz R. Technology of Tanks, London: Jane's Information Group, Ltd., 1991.
14. Demidov N.N. Friction Steering Devices as an Object of Impulse Control. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2020. P. 49-62.
15. Dobretsov R.Y., Uvakina D.V. The Mechatronic Device Impulse Control in Vehicle Powertrains. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2020. P. 63-73.