

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ ENGINEERING TECHNOLOGY

Научная статья**УДК 621.813****DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-5-18**

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА МОБИЛЬНОГО НАЗЕМНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Садовец Роман Владимирович¹, Резанова Елена Викторовна²,
Садовец Владимир Юрьевич^{2,*}

¹ Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

² Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: svyu.pmh@kuzstu.ru

Аннотация.

Разработка и совершенствование мобильных наземных робототехнических комплексов (НРТК М) различного назначения в настоящее время является одним из наиболее востребованных и перспективных направлений развития робототехники в Российской Федерации. В соответствии с Распоряжением Правительства РФ в целях популяризации в РФ инженерной мысли как драйвера развития и поддержки современных цифровых технологий было принято решение о ежегодном проведении Международных чемпионатов по битве роботов. Одним из наиболее важных функциональных элементов механической конструкции боевых НРТК М – участников Международных чемпионатов по битве роботов – является привод робота. В статье изложены основные этапы проектирования и приведены основные результаты проектной работы по разработке нового варианта электромеханического привода колесного боевого НРТК М с механической двухступенчатой коробкой переключения передач с дистанционным управлением. На основе опыта участия в Международных чемпионатах по битве роботов и иных соревнованиях с роботами, проведенных теоретических исследованиях в области перспективных разработок НРТК М сформулированы технические требования и составлено техническое задание на проектирование нового варианта электромеханического привода колесного боевого НРТК М. В результате разработаны новая конструкция электромеханического привода колесного боевого НРТК М с механической двухступенчатой коробкой переключения передач с дистанционным управлением, методика расчета и проектирования, компьютерная 3D-модель и комплект конструкторской документации для изготовления и испытаний привода робота, проведены испытания колесного боевого НРТК М с новым вариантом электромеханического привода. Результаты работы могут быть использованы для мобильных наземных робототехнических комплексов различного назначения при их эксплуатации в экстремальных условиях.



Информация о статье

Поступила:
23 октября 2025 г.

Одобрена после
рецензирования:
15 ноября 2025 г.

Принята к публикации:
02 декабря 2025 г.

Опубликована:
22 декабря 2025 г.

Ключевые слова:
мобильный наземный
робототехнический комплекс,
мобильный робот,
мехатроника, привод робота

Для цитирования: Садовец Р.В., Резанова Е.В., Садовец В.Ю. Разработка электромеханического привода мобильного наземного робототехнического комплекса с дистанционным управлением // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 6 (172). С. 5-18. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-5-18, EDN: DWDMTG

Введение

Разработка и совершенствование мобильных наземных робототехнических комплексов (НРТК М) различного назначения в настоящее время является одним из наиболее востребованных и перспективных направлений развития робототехники в Российской Федерации.

При разработке современных НРТК М основной задачей является создание функционально эффективной компоновки робототехнического комплекса для заданных условий эксплуатации. Одним из ответственных элементов подобных комплексов является механическая конструкция робота [1-3].

Разработчикам механической конструкции НРТК М в процессе проектирования необходимо решать ряд задач прикладного характера – формулировать технические требования, разрабатывать схемные и компоновочные решения, методики расчета и проектирования, математические и компьютерные модели, конструкторскую и технологическую документацию, изготавливать опытные образцы, проводить испытания и т. д.

В соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.04.2023 № 889-р [4] в целях популяризации в Российской Федерации инженерной мысли как драйвера развития и поддержки современных цифровых технологий было принято предложение Минцифры России о ежегодном проведении Международного чемпионата по битве роботов, начиная с 2023 года.

Командам-участникам Международных чемпионатов по битве роботов требуется разработать и изготовить боевой НРТК М массой до 110 кг с дистанционным управлением для участия в контактных поединках «один на один» продолжительностью три минуты, либо до нанесения роботу команды-соперника критических повреждений, после чего робот более не может перемещаться.

Особенностью контактного поединка боевых роботов «один на один» является его непредсказуемый результат, так как при полном контакте боевых НРТК М повреждения получают оба робота. Кроме того, площадка для проведения чемпионата оснащена дополнительными устройствами (шнеками, лопатами, молотами и др.), способными вывести роботов из работоспособного состояния.

Одним из основных функциональных элементов механической конструкции НРТК М является электромеханический привод (ЭМП), предназначенный для преобразования и передачи крутящего момента от электродвигателя к движителю (колесному, гусеничному) и обеспечения требуемых скоростей перемещения и ускорений робота [5-7].

При контактных поединках боевых НРТК М в процессе боя на механическую конструкцию робота воздействуют значительные нагрузки, связанные с высокой скоростью перемещения, особенностями маневрирования без значительного снижения скорости, ударами при контакте с роботом-соперником или дополнительными устройствами площадки, взлетами, падениями и иными воздействиями как на корпус боевого НРТК М, так и на его внутренние функциональные устройства и конструктивные элементы.

Для победы в контактном поединке и сохранения боевым НРТК М работоспособного состояния до конца боя к эксплуатационным характеристикам электромеханических приводов боевых НРТК М предъявляют крайне высокие требования.

Разработка новых вариантов и совершенствование применяемых в современных боевых НРТК М электромеханических приводов является актуальной задачей.

Методы

С целью улучшения маневренности, кинематических и силовых характеристик колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением – участника Международных чемпионатов по битве роботов и иных соревнований с роботами – возникла необходимость в усовершенствовании электромеханического привода робота.

Основными требованиями к усовершенствованному электромеханическому приводу колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением являются: увеличение кинематических и силовых характеристик, улучшение характеристик маневренности, повышение скорости срабатывания при воздействии управляющих сигналов при непрерывной нагрузке на выходном валу, обеспечение стабильности кинематических и силовых параметров между управляющими воздействиями, осуществлямыми дистанционно.

Обзор и анализ научно-технической литературы и результаты патентного поиска позволили выявить технические решения и устройства, удовлетворяющие в первом приближении требованиям к усовершенствованному электромеханическому приводу колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением [8-13].

В качестве готовых технических решений для усовершенствования электромеханического привода колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением рассматривались покупные изделия от компании Compact Reducer Technology (Рис. 1) и многоскоростные планетарные КПП для электромобилей.

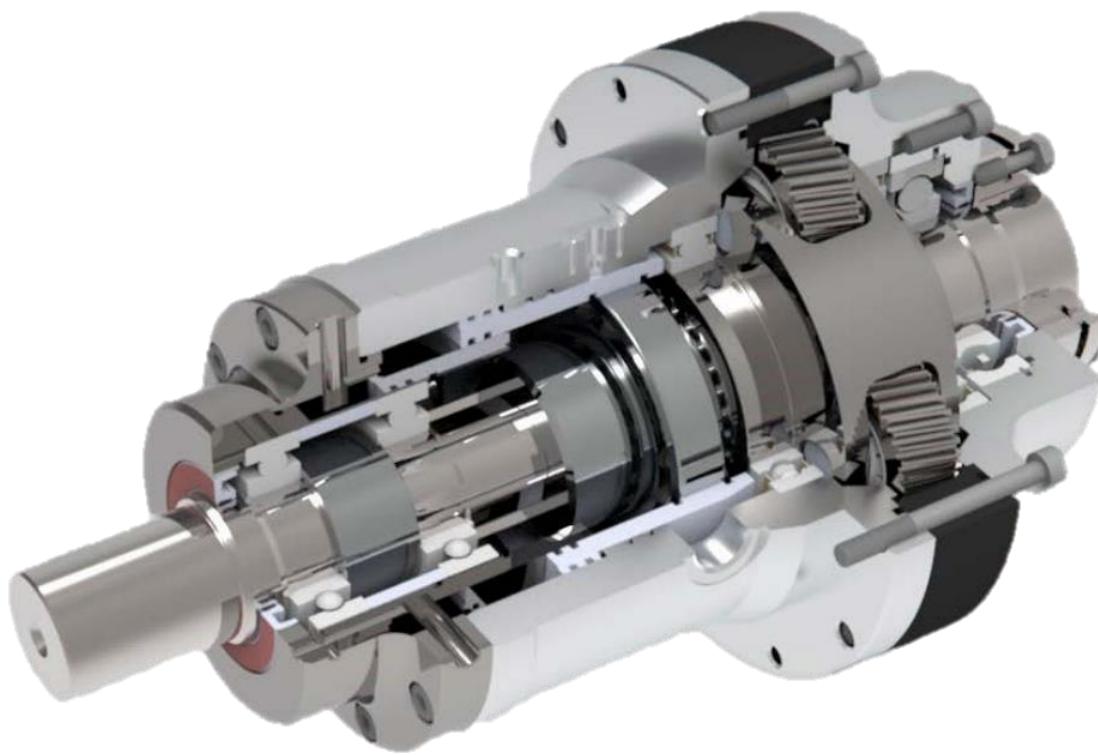


Рис. 1. Двухступенчатая КПП 2PG-CRT Gearbox от компании Compact Reducer Technology
Fig. 1. Two-speed 2PG-CRT Gearbox from Compact Reducer Technology

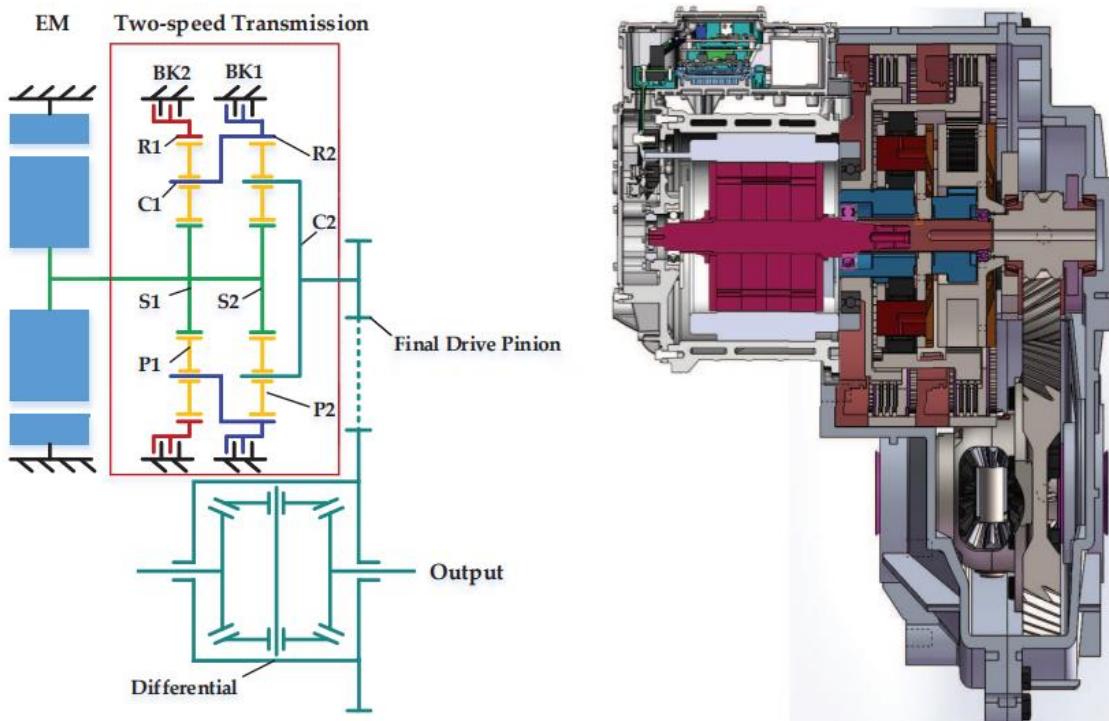
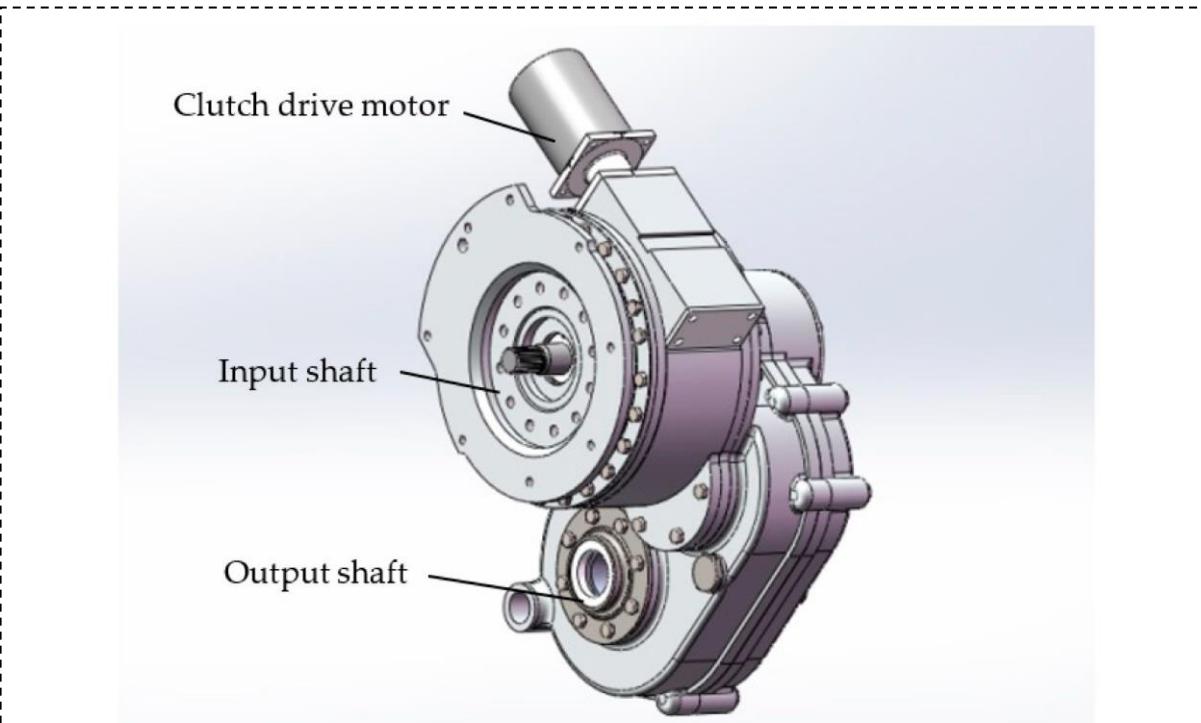
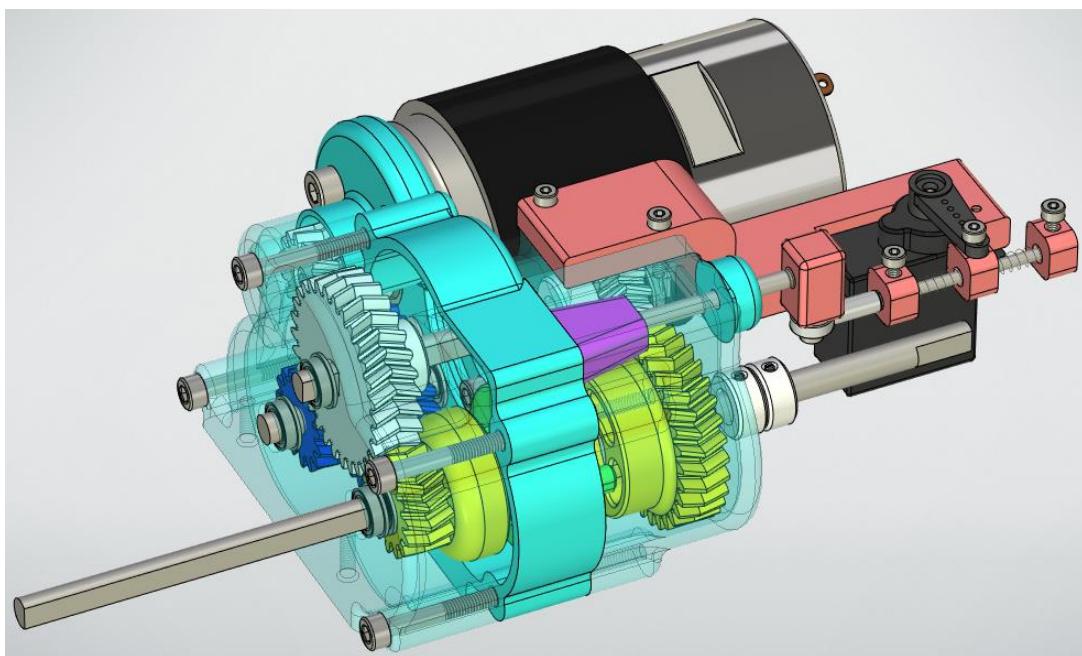


Рис. 2. Двухскоростная планетарная КПП с фрикционным пакетом для электромобилей
Fig. 2. Two-speed planetary gearbox with a friction pack for electric vehicles



*Рис. 3. Двухскоростная планетарная КПП с червячной передачей для электромобилей
Fig. 3. Two-speed planetary gearbox with worm gear for electric vehicles*



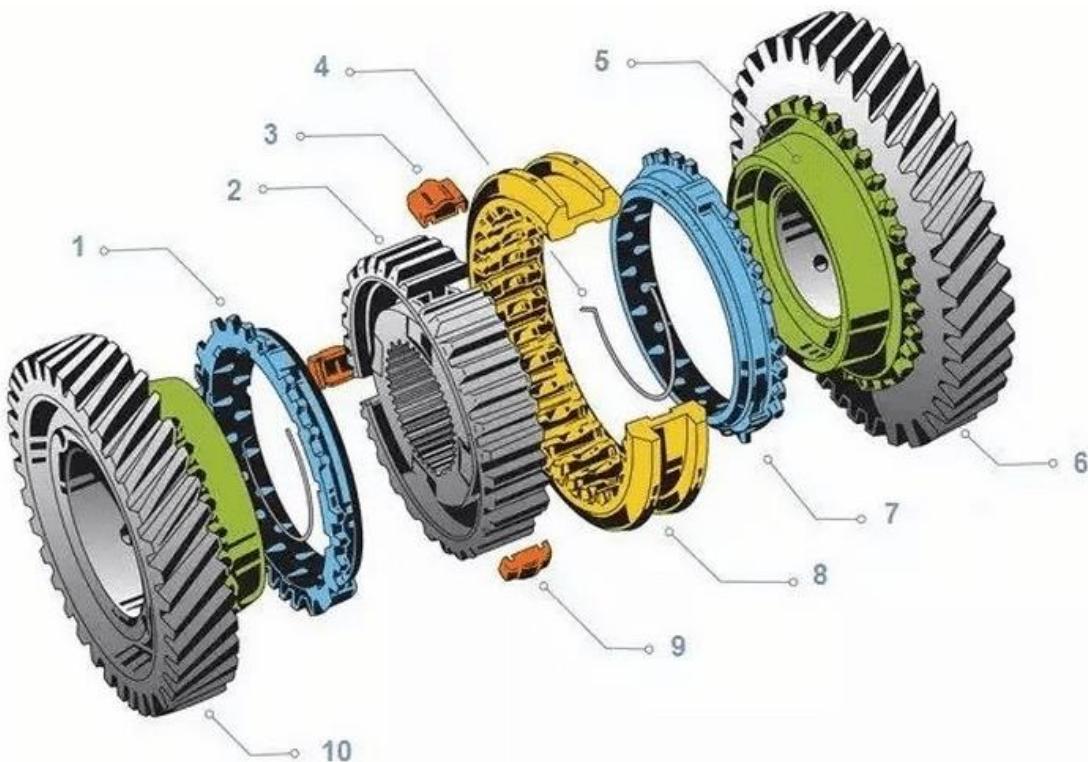
*Рис. 4. Двухступенчатая КПП под коллекторный двигатель TRAXXAS 5675 TITAN 775 10T 16.8 В
Fig. 4. Two-stage gearbox for the collector engine TRAXXAS 5675 TITAN 775 10T 16.8 В*

Переключение передач в двухступенчатой КПП от компании Compact Reducer Technology осуществляется посредством линейного перемещения штока, фиксирующего корончатое колесо планетарной передачи. Недостатком технического решения является высокая вероятность поломки деталей электромеханического привода колесного боевого НРТК М в моменты переключения

передач в условиях поединка с роботом-соперником. Иные варианты линейного переключения передач (гидравлические, пневматические, электромагнитные) усложняют конструкцию колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением, понижают надежность ЭМП, могут спровоцировать негативные эффекты (электромагнитные



*Рис. 5. Устройство механической КПП автомобиля
Fig. 5. The device of the mechanical gearbox of the car*



*Рис. 6. Устройство синхронизатора с блокирующим зубчатым венцом
Fig. 6. Synchronizer device with locking gear ring*

наводки) и делают его более уязвимым перед роботом-соперником.

В многоскоростных планетарных КПП для электромобилей переключение передач осуществляется аналогично системам с

фрикционными пакетами, но гидроблок в них заменен либо на механические способы переключения, либо на электромагнитные [8-13].

В варианте двухскоростной КПП для электромобилей (Рис. 2) проработаны

практически все возможные способы регулирования крутящего момента, а также разработана система управления для механического переключения.

Во втором варианте исполнения КПП для электромобилей (Рис. 3) переключение передач осуществляется посредством червячной передачи.

Готовые технические решения, которые можно было бы изготовить собственными силами для заданной конструкции боевого НРТК М с дистанционным управлением и заданные условия эксплуатации, обладают малой нагрузочной способностью (Рис. 4).

Кроме того, пришлось отказаться от готовых технических решений с использованием в конструкции ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением зубчатых колес внутреннего зацепления ввиду их ограниченной доступности на рынке и высокой стоимости изготовления.

Переключение передач в механических КПП автомобилей реализуется с помощью системы рычагов (Рис. 5), а плавность и безударность изменения передаточных отношений в большинстве КПП обеспечивается посредством синхронизаторов (Рис. 6).

Синхронизатор посредством шлицевого соединения находится в постоянном зацеплении с ведомым валом. Зубчатые колеса, расположенные на ведомом валу, свободно вращаются на нем либо за счет скользящих посадок, либо посредством установки втулок между валом и зубчатым колесом. При переключении передачи происходит линейное смещение штоков с жестко зафиксированными на них вилками. Вилки смещают муфту синхронизатора. Вначале она входит в зацепление с блокирующим кольцом синхронизатора, далее кольцо за счет сил трения плавно прижимается к коническому профилю зубчатого колеса, происходит выравнивание угловых скоростей вращения синхронизатора и зубчатого колеса. Завершающим этапом является сопряжение зубьев муфты синхронизатора с идентичными зубьями на зубчатом колесе.

Учитывая основные требования к ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением, особенности конструкции робота, условия его эксплуатации, результаты обзора и анализа научно-технической литературы, патентного поиска и обзора рынка готовых технических решений, было принято решение о разработке нового варианта электромеханического привода для колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением с механической двухступенчатой КПП.

При разработке нового варианта электромеханического привода для колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением

были использованы следующие методы: обоснование геометрических и кинематических параметров ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением – методами теории механизмов и машин; обоснование силовых параметров, расчеты на прочность и разработка методики расчета основных параметров ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением – инженерными методами расчета деталей машин; разработка компьютерной 3D-модели ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением, разработка конструкторской документации в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) – с применением системы автоматизированного проектирования (САПР) КОМПАС-3D.

Результаты

Конструкция нового варианта электромеханического привода для колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением с механической двухступенчатой КПП была разработана на основе 3-4 передачи МКПП ВАЗ-2110 с синхронизатором и блокирующими кольцами.

Поскольку управление колесным боевым НРТК М осуществляется дистанционно, важным этапом разработки нового варианта ЭМП робота являлось обеспечение возможности дистанционного переключения передач, повышение скорости срабатывания при воздействии управляющих сигналов при непрерывной нагрузке на выходном валу, обеспечение стабильности кинематических и силовых параметров между управляющими воздействиями.

В качестве аналога рассматривался вариант роботизированной КПП, в которой переключение передач осуществляется посредством вспомогательного ЭМП. Учитывая, что зубчатая муфта синхронизатора перемещается линейно, параллельно оси выходного вала, в конструкции нового варианта ЭМП была применена передача винт-гайка. Таким образом, вилка, расположенная на штоке вспомогательного ЭМП, используется в качестве гайки в передаче с ведущим винтом – вилка линейно перемещается и переключает передачи.

Электродвигателем нового варианта ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением был принят доступный для покупки шаговый электродвигатель FL35ST, удовлетворяющий требуемой мощности. Двигателем главного движения был принят трехфазный вентильный электродвигатель с вращающимся корпусом Flipsky BLDC 7070 140KV 4200W Outrunner Motor. Такой тип двигателя обеспечивает высокие энергетические показатели, исключая при этом необходимость

Таблица 1. Техническое задание на разработку электромеханического привода колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением

Table 1. Technical specifications for the development of an electromechanical drive for a wheeled combat mobile ground-based robotic complex with remote control

Масса робота m_p , кг	110
Радиус колеса робота r_k , м	0,1
Первая и вторая линейная скорость перемещения робота, соответственно, v , км/ч	10; 20
Передаточные отношения в КПП $i_{I,T3}, i_{II,T3}$	7; 12
Номинальное напряжение питания двигателя главного движения (предельное напряжение), В	44,4 (50,4)
Количество колес у робота	2
Рабочий угол поворота выходного вала, град.	В обе стороны без ограничений
Механизм переключения передач	Синхронизатор КПП ВАЗ-2110
Двигатель главного движения	Трехфазный ВД Flipsky BLDC Motor 7070 140KV 4200W

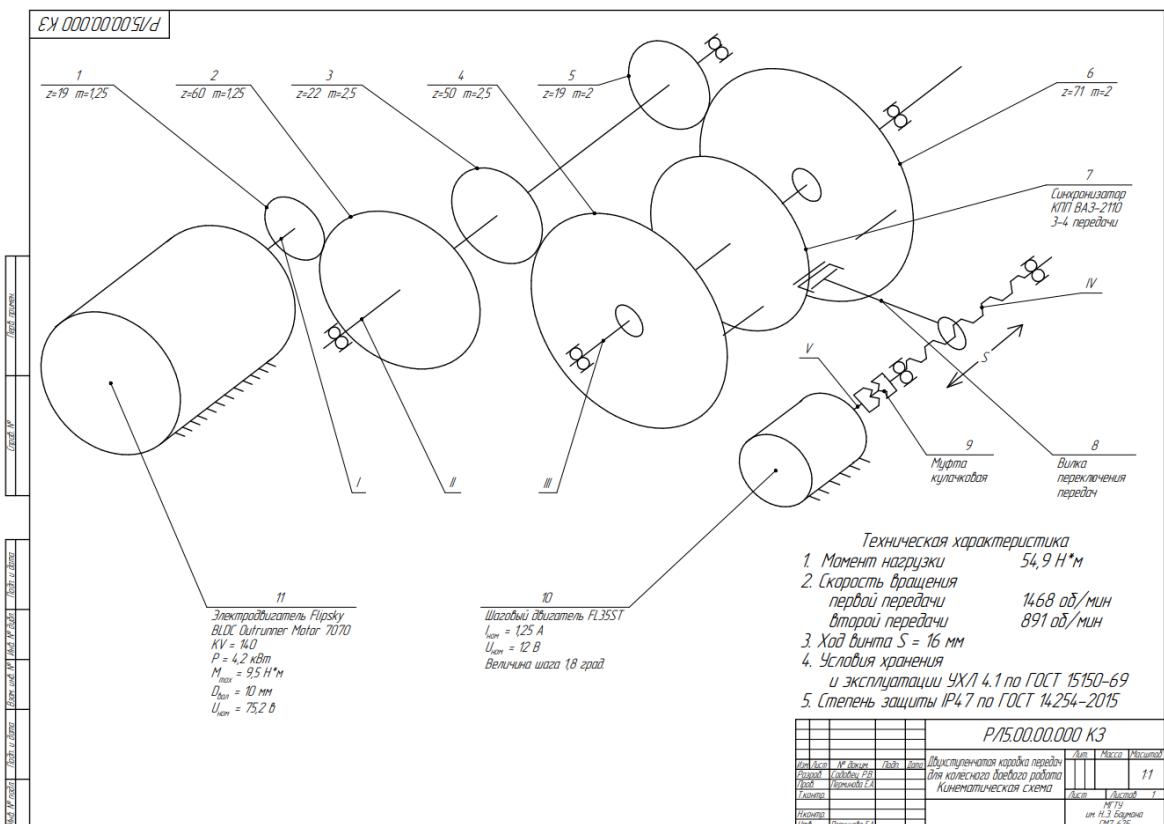


Рис. 7. Кинематическая схема ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением

Fig. 7. Kinematic diagram of an electromechanical drive for a wheeled combat mobile ground-based robotic complex with remote control

дополнительного охлаждения самого двигателя при больших крутящих моментах.

На основе разработанных требований к новому варианту ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением, особенностей конструкции робота, условий его эксплуатации, наличия на рынке доступных для покупки комплектующих, было разработано техническое задание на проектирование (Таблица 1).

Передаточные отношения КПП $i_{I,T3}, i_{II,T3}$ колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением приняты на основе опыта

предыдущих проектных работ команды-участника Международных чемпионатов по битве роботов и иных соревнований с роботами и анализа перспективных разработок НРТК М, в том числе командами-соперниками.

Повышение нагрузочной способности нового варианта ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением при одновременном снижении требований к механическим характеристикам материалов зубчатых колес и валов обеспечено конструкцией ЭМП робота. В конструкции

нового варианта ЭМП робота предусмотрено три вала: промежуточный вал (находится в постоянном контакте через зубчатую передачу с двигателем главного движения); выходной вал (зубчатые колеса имеют возможность перемещаться вдоль оси вала; сам вал является выходным звеном КПП – на нем крепятся колеса боевого робота); шток переключения передач (является винтом для вилки КПП, осуществляющей переключение передач). Кинематическая схема нового варианта ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением представлена на Рис. 7.

При определении крутящих моментов M_h принято, что на одно колесо боевого НРТК М с дистанционным управлением приходится масса не более $m_k = 70$ кг, коэффициент трения между поверхностью площадки для проведения чемпионата (сталь) и колесами боевого НРТК М с дистанционным управлением (полиуретановый компаунд с твердостью по Шору 58-65А) – $\mu = 0,8$ [14, 15].

Крутящий момент, обеспечиваемый главным двигателем КПП, может быть определен по формуле:

$$M_h = \mu \cdot N \cdot r_k = \mu \cdot m_k \cdot g \cdot r_k, \quad (1)$$

где N – нормальная реакция от поверхности площадки для проведения чемпионата, приходящаяся на одно колесо, Н; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

Подбор электродвигателя осуществлен по критерию:

$$P_{\text{дв}} \geq (P_{\text{дв}})_p, \quad (2)$$

где $P_{\text{дв}}$ – паспортная мощность электродвигателя, кВт; $(P_{\text{дв}})_p$ – расчетная мощность электродвигателя, кВт.

$$(P_{\text{дв}})_p = \xi \cdot \frac{P_h}{\eta_0}, \quad (3)$$

где ξ – коэффициент динамичности ЭМП, зависящий от условий эксплуатации ($\xi = 1,2$); η_0 – КПД ($\eta_0 = 0,9$); P_h – номинальная мощность электродвигателя, кВт.

$$P_h = M_h \cdot \omega_h = M_h \cdot \frac{\pi * n}{30}, \quad (4)$$

где ω_h – угловая скорость, с^{-1} ; n – частота вращения, мин^{-1} .

$$\omega = \frac{v}{r_k}, \quad (5)$$

По результатам проведенных расчетов и тестовых испытаний двигателя главного движения было определено, что двигатель главного движения способен обеспечивать требуемую мощность при напряжении 72 В. Вследствие этого общая емкость аккумуляторов в системе была увеличена до трех шестибаночных литий-полимерных аккумуляторов типа Li-Po HRB 6000 mAh, 6S, 50C battery pack.

В результате проектирования были определены геометрические, кинематические и

силовые параметры ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением [14, 15].

Межосевое расстояние между промежуточным и выходным валами КПП:

$$a = \frac{m(z_k + z_{k+1})}{2}, \quad (6)$$

где m – модуль зацепления, мм; z – число зубьев зубчатых колес.

Общее передаточное отношение разработанной КПП:

$$i_{\Sigma} = \prod_{k=1}^n i_k, \quad (7)$$

где n – количество ступеней КПП.

Уточненные значения передаточных отношений зубчатых передач КПП:

$$i_I = i_{12} \cdot i_{34} = 3,16 \cdot 2,27 = 7,17, \quad (8)$$

$$i_{II} = i_{12} \cdot i_{56} = 3,16 \cdot 3,74 = 11,82. \quad (9)$$

Крутящие моменты на валах КПП:

$$M_k = \frac{M_{k+1}}{i_{k,k+1} \cdot \eta_{k,k+1} \cdot \eta_{\text{опор}}}, \quad (10)$$

где $i_{k,k+1}$ – передаточное отношение зубчатой передачи; $\eta_{k,k+1}$ – КПД передачи ($\eta_{k,k+1} = 0,98$); $\eta_{\text{опор}}$ – КПД подшипников качения ($\eta_{\text{опор}} = 0,995$).

Расчетные значения крутящих моментов на валах КПП не превышают значения максимального крутящего момента двигателя главного движения.

Модуль зацепления:

$$m \geq K_m \sqrt[3]{\frac{M \cdot Y_F \cdot K_{\beta}}{z \cdot \psi_{bm} [\sigma_F]}}, \quad (11)$$

где K_m – коэффициент профиля зуба ($K_m = 1,4$); M – крутящий момент, Н·м; Y_F – коэффициент формы зуба; K_{β} – коэффициент неравномерности распределения нагрузки по длине зуба ($K_{\beta} = 1,3$); z – число зубьев зубчатого колеса; ψ_{bm} – коэффициент ширины зубчатого венца (для колеса $\psi_{bm,k} = 8$; для шестерни $\psi_{bm,w} = 12$); $[\sigma_F]$ – допускаемые напряжения изгиба, МПа.

Шестерня была изготовлена из стали 40Х, зубчатое колесо – из стали 40. Допускаемые напряжения изгиба:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{-1}}{n_{\text{изг}}}, \quad (12)$$

где σ_{-1} – предел выносливости при симметричном цикле изменения напряжений, МПа; $n_{\text{изг}}$ – коэффициент запаса прочности при изгибе.

Расчет зубьев зубчатых колес на прочность при изгибе позволил уточнить значения модулей зубчатых колес КПП. В расчетах было принято наибольшее возможное значение крутящего момента, что соответствует включенной первой передаче КПП.

При геометрическом расчете зубчатых передач КПП были определены следующие параметры: делительные диаметры, диаметры окружностей вершин и впадин зубьев, ширины венцов зубчатых колес, делительное межосевое расстояние. Проверочный расчет первой и второй зубчатых передач разработанной КПП на

контактную прочность зубьев зубчатых колес с учетом максимальных параметров двигателя главного движения и механических характеристик применяемых материалов подтвердил работоспособность нового варианта электромеханического привода для колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением с механической двухступенчатой КПП.

Кинематическая схема нового варианта ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением, разработанная на основе геометрического, кинематического, силового и прочностного расчетов, оформленная в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД),

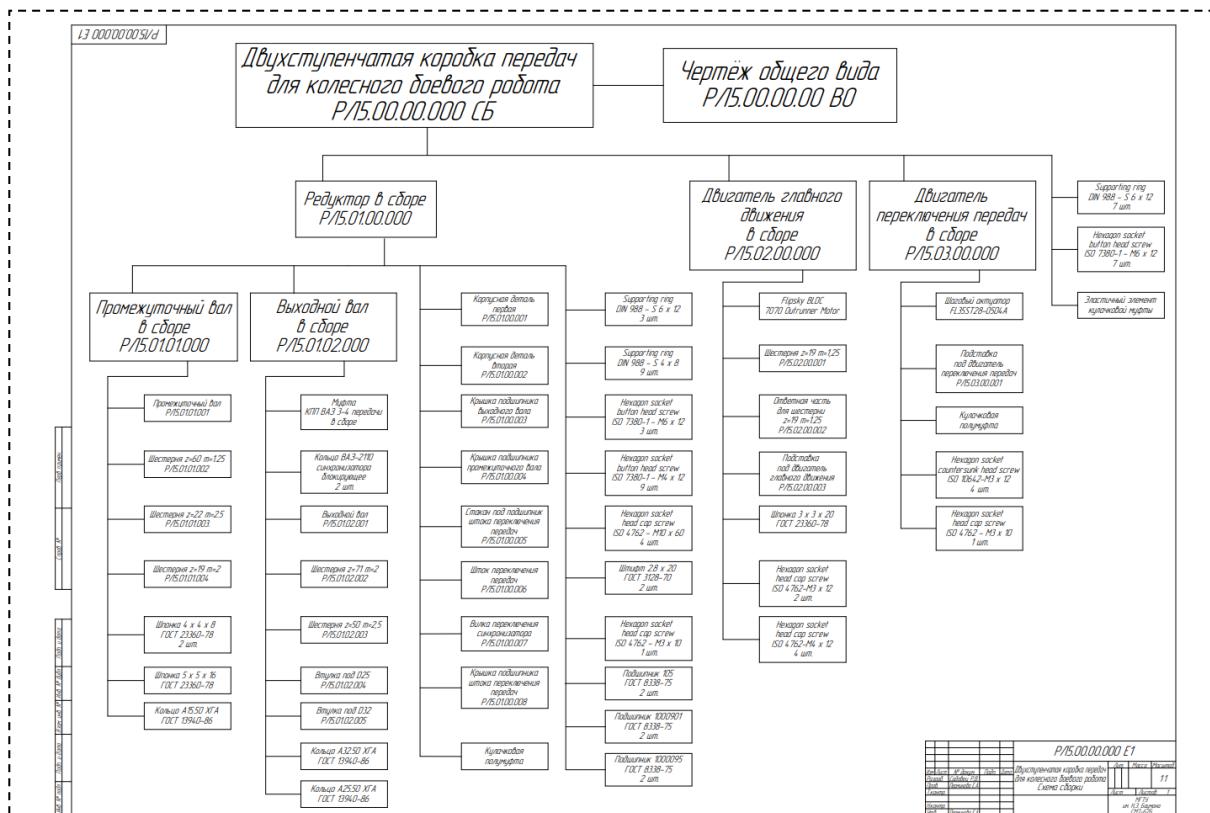


Рис. 8. Схема сборки ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением

Fig. 8. Assembly diagram of an electromechanical drive for a wheeled combat mobile ground-based robotic complex with remote control

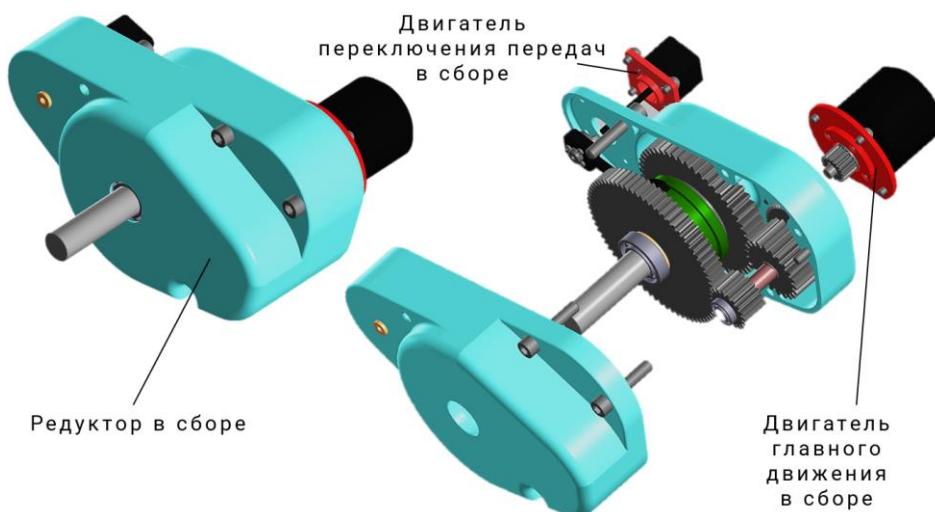


Рис. 9. Компьютерная 3D-модель ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением

Fig. 9. Computer 3D model of an electromechanical drive for a wheeled combat mobile ground-based robotic complex with remote control

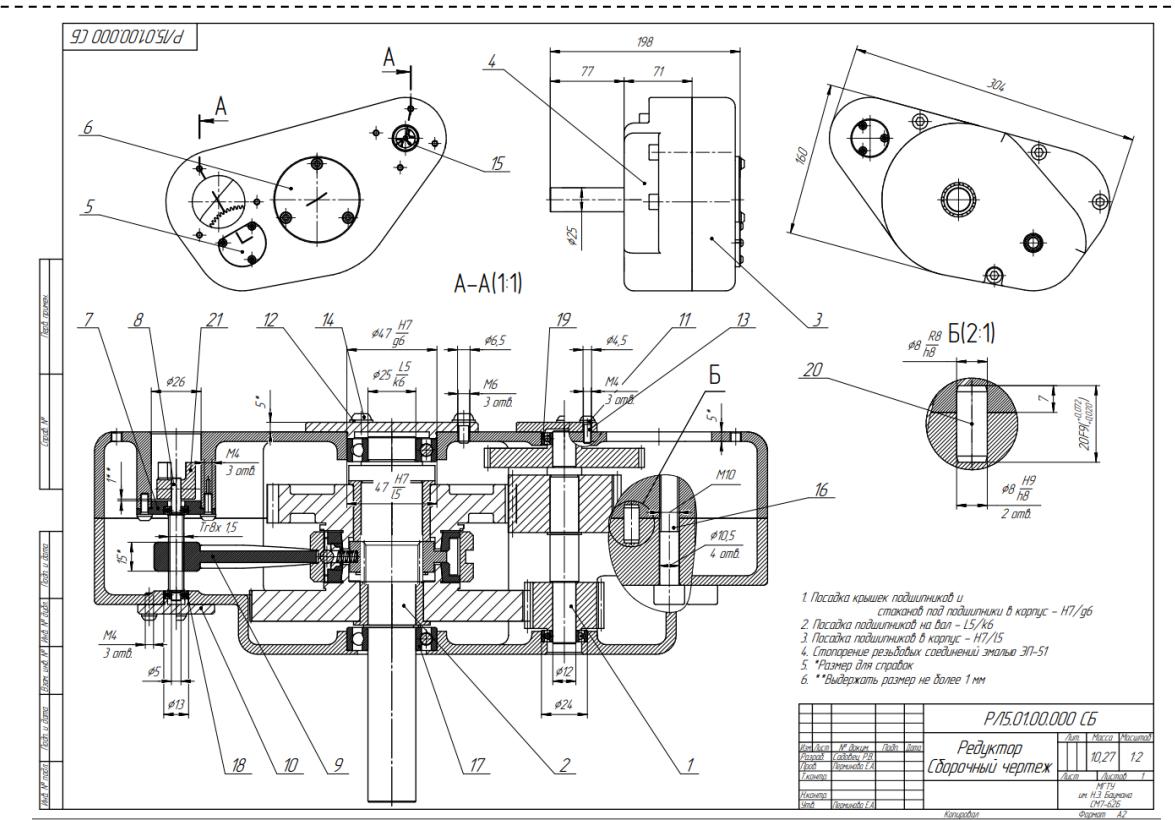


Рис. 10. Сборочный чертеж КПП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением
 Fig. 10. Assembly drawing of the gearbox of the electromechanical drive of a wheeled combat mobile ground-based robotic complex with remote control

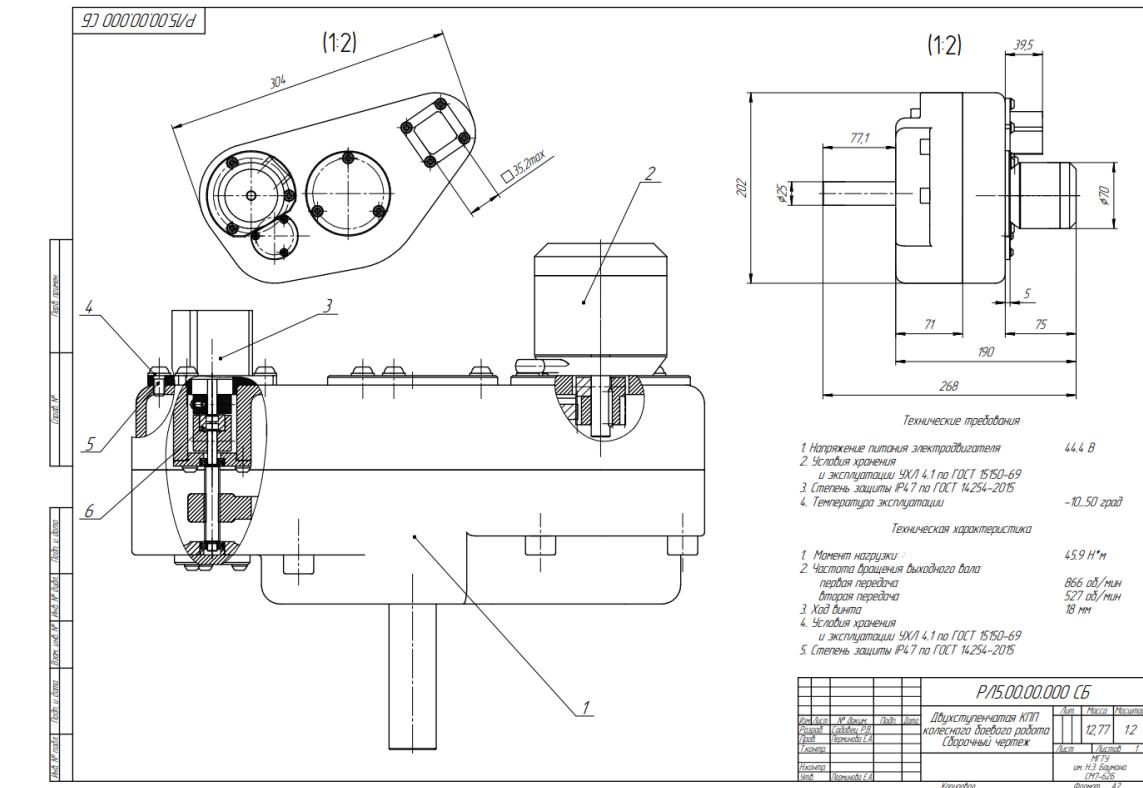


Рис. 11. Сборочный чертеж ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением
Fig. 11. Assembly drawing of an electromechanical drive for a wheeled combat mobile ground-based robotic complex with remote control

приведена на Рис. 7.

При проектировании нового варианта ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением были разработаны компьютерные 3D-модели деталей и сборочных единиц ЭМП робота с применением системы автоматизированного проектирования (САПР) КОМПАС-3Д.

Схема сборки нового варианта ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением, отображающая номенклатуру деталей и сборочных единиц и взаимосвязи между ними, представлена на Рис. 8, компьютерная 3D-модель нового варианта ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением – на Рис. 9.

Сборочные чертежи нового варианта ЭМП колесного боевого НРТК М с дистанционным управлением, разработанные в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) представлены на Рис. 10 и 11.

Выводы

В результате работы:

- сформулированы технические требования к новому варианту электромеханического привода колесного боевого мобильного наземного робототехнического комплекса (НРТК М) с дистанционным управлением по результатам участия в Международных чемпионатах по битве роботов и иных соревнований с роботами;
- разработана новая конструкция механической двухступенчатой КПП с дистанционным переключением передач и повышенной скоростью срабатывания при воздействии управляющих сигналов при непрерывной нагрузке на выходном валу, обеспечивающая стабильность кинематических и силовых параметров между управляющими воздействиями;
- разработана новая конструкция электромеханического привода колесного боевого НРТК М с повышенными кинематическими и силовыми характеристиками и улучшенными характеристиками маневренности робота;
- разработана методика расчета и проектирования ЭМП колесного боевого НРТК М;
- разработана компьютерная 3D-модель и комплект конструкторской документации для изготовления и испытаний электромеханического привода колесного боевого НРТК М;
- проведены испытания колесного боевого НРТК М с новым вариантом электромеханического привода с механической двухступенчатой коробкой переключения передач с дистанционным управлением.

Результаты работы могут быть использованы для мобильных наземных робототехнических комплексов (НРТК М) различного назначения при их эксплуатации в экстремальных условиях – на Международных чемпионатах по битве роботов, на различных соревнованиях с использованием роботов и иных целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плиткин В. А., Сериков С. А. Аналитический обзор принципов построения мобильных роботов // Colloquium-Journal. 2020. № 3-2(55). С. 66-70.
2. Андреев В. П., Ким В. Л. Модульный мобильный робот - концепция и разработка // Автоматизация и управление в машиностроении. 2016. № 2(24). С. 48-53.
3. Топоров А. В., Иванов В. Е., Зарубин В. П. Мобильный робот с элементами модульной компоновки // Актуальные проблемы пожарной безопасности : тезисы докладов XXX Международной научно-практической конференции, Ногинск, 06–08 июня 2018 года. Ногинск : Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2018. С. 545-547.
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11.04.2023 N 889-р.
5. Малкин М. А., Переладов А. С., Щербин А. М. Мехатронные привода в тормозной и рулевой системах электротранспорта // Экстремальная робототехника. 2024. № 1(35). С. 22-26.
6. Либерман Я. Л., Овчинникова В. А., Горбунова Л. Н. Мобильный робот повышенной проходимости // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2023. № 1(45). С. 63-67.
7. Иванов А. А., С. В. Харузин, О. А. Шмаков Мобильный робот на двух реконфигурируемых колесах: конструкция и структура управления // Экстремальная робототехника. 2014. № 1(25). С. 154-158.
8. Inoyatkhodjaev Ja., Umerov F., Asanov S. Method for sizing an electric drive for small class electric vehicles // Universum: технические науки. 2023. № 4-7(109). Pp. 33-39. DOI: 10.32743/UniTech.2023.109.4.15230.
9. Коротнев В. Е. Коробка переключения передач: виды и устройство // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации : сборник статей XIX Международной научно-практической конференции, Пенза, 25 августа 2018 года. Пенза : «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г. Ю.), 2018. С. 21-23.
10. Гурин И. В., Красило М. С., Скубак П. Г. Устройство автоматического управления механической коробкой переключения передач //

Экстремальная робототехника. 2022. № 1(33). С. 83-97.

11. Вареник Ю. А., Еремкина Е. В. Автомат управления коробкой переключения передач для системы автономного управления автомобилем повышенной проходимости // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2018. № 2. С. 75-77.

12. Румянцев Л. А. Автоматическая механическая коробка передач, переключаемая под нагрузкой // Журнал автомобильных инженеров. 2012. № 4(75). С. 40-43.

13. Караваев Ю. Л., Шестаков В. А., Калинкин А. А., Богатырев А. В. Грузоподъемная высокоманевренная мобильная платформа с омниколесами // Новые кадры оборонно-промышленного комплекса: диверсификация ОПК и реализация национальных проектов : Сборник материалов XII Всероссийского совещания, посвященного 100-летию М.Т. Калашникова, Ижевск, 16–19 октября 2019 года. Ижевск : Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, 2019. С.

53-56.

14. Садовец Р. В., Перминова Е. А. Двухступенчатая коробка передач для колесного боевого робота. Всероссийская студенческая конференция «Студенческая научная весна», посвященная 110-летию со дня рождения академика В. Н. Челомея: сборник тезисов докладов / Министерство науки и высшего образования РФ, МГТУ им. Н. Э. Баумана. М. : ООО «Издательский дом «Научная библиотека», 2024. С. 444-445.

15. Садовец Р. В., Перминова Е. А. Разработка двухступенчатой коробки переключения передач для колесного робота, участника международного чемпионата по битве роботов // Будущее машиностроения России : Сборник докладов XVII Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (с международным участием). В 2-х томах, Москва, 24–27 сентября 2024 года. М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2025. С. 53-57.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Садовец Роман Владимирович, магистрант, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, e-mail: r.sadovets1296@yandex.ru.

Резанова Елена Викторовна, старший преподаватель, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7980-847X>, e-mail: rezanovaev@kuzstu.ru.

Садовец Владимир Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6056-9504>, e-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru.

Заявленный вклад авторов:

Садовец Роман Владимирович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, обзор актуальной литературы, сбор данных, анализ данных, написание текста, подведение итогов.

Резанова Елена Викторовна – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, обзор актуальной литературы, сбор данных, анализ данных, написание текста, подведение итогов.

Садовец Владимир Юрьевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, обзор актуальной литературы, сбор данных, анализ данных, написание текста, подведение итогов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DEVELOPMENT OF AN ELECTROMECHANICAL DRIVE MOBILE GROUND-BASED ROBOTICS COMPLEX WITH REMOTE CONTROL

Roman V. Sadovets¹, Elena V. Rezanova²,
Vladimir Yu. Sadovets^{2,*}

¹ Bauman Moscow State Technical University

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: svyu.pmh@kuzstu.ru

Abstract.

The development and improvement of mobile ground-based robotics complexes (GBRC M) for various purposes is currently one of the most sought-after and promising areas of robotics development in the Russian Federation. In accordance with the Decree of the Government of the Russian Federation, in order to popularize engineering in the Russian Federation as a driver for the development and support of modern digital technologies, it was decided to hold annual International Robot Battle Championships. One of the most important functional elements of the mechanical design of the combat GBRC M participating in the International Robot Battle Championships is the robot drive. The article outlines the main design stages and presents the main results of the design work on the development of a new version of the electromechanical drive of the wheeled combat GBRC M with a two-stage manual transmission with remote control. Based on the experience of participating in International Robot Battle Championships and other competitions with robots, conducted theoretical research in the field of promising developments of the GBRC M, technical requirements were formulated and a technical specification was drawn up for the design of a new version of the electromechanical drive of the wheeled combat GBRC M. As a result, a new design of the electromechanical drive of the wheeled combat GBRC M with a two-stage manual gearbox with remote control, calculation and design methodology, a 3D computer model and a set of design documentation for the manufacture and testing of the robot drive were developed, tests of the wheeled combat GBRC M with a new version of the electromechanical drive were carried out. The results of the work can be used for mobile ground-based robotics complexes for various purposes during their operation in extreme conditions.



Article info

Received:
23 October 2025

Accepted for publication:
15 November 2025

Accepted:
02 December 2025

Published:
22 December 2025

Keywords: mobile ground-based robotics complex, mobile robot, mechatronics, robot drive.

For citation: Sadovets R.V., Rezanova E.V., Sadovets V.Yu. Development of an electromechanical drive mobile ground-based robotics complex with remote control. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 6(172):5-18. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-5-18, EDN: DWDMTG

REFERENCES

1. Plitkin V.A., Serikov S.A. An analytical review of the principles of building mobile robots. *Colloquium-Journal*. 2020; 3-2(55):66-70.
2. Andreev V.P., Kim V.L. Modular mobile robot - concept and development. *Automation and control in mechanical engineering*. 2016; 2(24):48-53.
3. Toporov A.V., Ivanov V.E., Zarubin V.P. Mobile robot with modular layout elements. *Actual problems of fire safety : abstracts of the XXX International Scientific and Practical Conference*. Noginsk, June 06-08, 2018. Noginsk: All-Russian Order of the Badge of Honor Scientific Research Institute of Fire Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters; 2018. Pp. 545-547.
4. Decree of the Government of the Russian Federation dated 04/11/2023 N 889-R.
5. Malkin M.A., Pereladov A.S., Shcherbin A.M. Mechatronic drives in the braking and steering systems of electric vehicles. *Extreme robotics*. 2024; 1(35):22-26.
6. Lieberman Ya.L., Ovchinnikova V.A., Gorbunova L.N. Mobile off-road robot. *Mechanical engineering and life safety*. 2023; 1(45):63-67.
7. Ivanov A.A., Kharuzin S.V., Shmakov O.A. Mobile robot on two reconfigurable wheels: design and control structure. *Extreme robotics*. 2014; 1(25):154-158.
8. Inoyatkhodjaev Ja., Umerov F., Asanov S. Method for sizing an electric drive for small class electric vehicles. *Universum: technical sciences*. 2023; 4-7(109):33-39. DOI: 10.32743/UniTech.2023.109.4.15230.
9. Korotnev V.E. Gearshift box: types and device. *Modern technologies: current issues, achievements and innovations : collection of articles of the XIX International Scientific and Practical Conference*. Penza, August 25, 2018. Penza: Nauka i Prosveshchenie (IP Gulyaev G.Yu.); 2018. Pp. 21-23.
10. Gurin I.V., Krasilo M.S., Skubak P.G. Device for automatic control of a manual transmission. *Extreme robotics*. 2022; 1(33):83-97.
11. Varenik Yu.A., Eremkina E.V. Automatic transmission control for an off-road vehicle autonomous

control system. *Mechatronics, automation and robotics.* 2018; 2:75-77.

12. Rumyantsev L.A. Automatic manual transmission, switched under load. *Journal of Automotive Engineers.* 2012; 4(75):40-43.

13. Karavaev Yu.L., Shestakov V.A., Kalinkin A.A., Bogatyrev A.V. Highly maneuverable lifting mobile platform with omnicycles. *New personnel of the military-industrial complex: diversification of the defense industry and the implementation of national projects : Collection of materials of the XII All-Russian meeting dedicated to the 100th anniversary of M.T. Kalashnikov.* Izhevsk, October 16-19, 2019. Izhevsk: Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov; 2019. Pp. 53-56.

14. Sadovets R.V., Perminova E.A. Two-speed gearbox for a wheeled combat robot. *All-Russian Student*

Conference "Student Scientific Spring", dedicated to the 110th anniversary of the birth of Academician V.N. Chelomey: a collection of abstracts / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Bauman Moscow State Technical University. Moscow: Scientific Library Publishing House, LLC; 2024. Pp. 444-445.

15. Sadovets R.V., Perminova E.A. Development of a two-stage gearbox for a wheeled robot participating in the international robot battle championship. *The future of Russian engineering : A collection of reports of the XVII All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists (with international participation).* In 2 volumes. Moscow, September 24-27, 2024. Moscow: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University; 2025. Pp. 53-57.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Roman V. Sadovets, Master's student, Bauman Moscow State Technical University, e-mail: r.sadovec1296@yandex.ru.

Elena V. Rezanova, Senior lecturer, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-7980-847X>, e-mail: rezanovaev@kuzstu.ru.

Vladimir Yu. Sadovets, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-6056-9504>, e-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru.

Contribution of the authors:

Roman V. Sadovets— research problem statement, conceptualisation of research, reviewing the relevant literature, data collection, data analysis, writing the text, drawing the conclusions.

Elena V. Rezanova— research problem statement, conceptualisation of research, reviewing the relevant literature, data collection, data analysis, writing the text, drawing the conclusions.

Vladimir Yu. Sadovets— research problem statement, conceptualisation of research, reviewing the relevant literature, data collection, data analysis, writing the text, drawing the conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

