

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ И СИСТЕМЫ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ГУСЕНИЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ

А.А. Румянцева

zavgorodnyaya@bmstu.ru

SPIN-код: 7042-1381

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Исследована актуальность разработки универсальной роботизированной гусеничной платформы повышенной проходимости для решения задач служб спасения, таких как патрулирование, разведка, разбор завалов, тушение пожаров, перевозка грузов. Выполнена модернизация механической передачи (вариатора) платформы, обеспечивающая возможность подключения к ней привода, который будет напрямую влиять на передаточное отношение. Разработана конструкция привода, а также предложена модель отладочного стенда привода активного вариатора. Решена задача реализации рулевого управления. Разработана собственная система рулевого управления, составлена и описана кинематическая схема предложенного способа. Проведено моделирование, подтверждающее работоспособность разработанного способа рулевого управления.

Ключевые слова

Универсальность, повышенная проходимость, мобильный роботизированный комплекс, гусеничная платформа, модернизация, механическая передача, вариатор, привод, управление, моделирование

Поступила в редакцию 11.11.2021

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

Введение. На данном этапе развития цифровых технологий мобильные роботы повсеместно внедряются в нашу повседневную жизнь. Среди роботов есть такие, которые работают на складе в качестве грузчиков, осуществляют патрулирование границ, тушат пожары, помогают в поисковых операциях, при разборе завалов. Каждый из них производится либо в единичном экземпляре, либо мелкой серией экземпляров, и спектр выполняемых задач мобильного робота каждой из конструкций очень узок. Это свидетельствует о том, что переоборудование и использование роботов не по изначальному назначению практически невозможно. Поэтому разработка мобильного робота для каждого конкретного случая является очень дорогим проектом, который может реализовываться в течение нескольких лет, а иногда и десятков лет, поскольку в процессе испытаний в проект вносятся изменения, а благодаря высокой скорости развития цифровых технологий решения, применявшиеся на начальных этапах разработки, сильно устаревают [1].

Поскольку у служб спасения есть задачи, которые выполнять человеку опасно или нет возможности (разбор завалов, тушение лесных пожаров, постоянное

патрулирование), разработка мобильного робототехнического комплекса (МРК) является необходимой. Но следует понимать, что чем дороже единичный экземпляр, тем меньше его распространение, а значит, уже область применения.

В связи с этим возникает задача разработки базового шасси для МРК, использующегося в службах спасения и способного решать большой спектр задач. Первостепенной задачей при разработке шасси является выбор исполнительного двигателя (основного силового агрегата системы). Этот выбор ограничен классификацией роботов, где в зависимости от массы и габаритов уже указан класс разрабатываемого мобильного робота, а также мощность исполнительного двигателя, необходимая такой машине. Данная задача чаще всего уже является одним из пунктов технического задания, но необходимо понимать, что кроме основного силового агрегата в разрабатываемом шасси должна присутствовать система рулевого управления, а также механическая передача.

На основе проведенного исследования литературы по данному вопросу в статье [2] был сделан вывод о том, что в качестве основной механической передачи следует использовать модифицированный снегоходный вариатор «Сафари» [3, 4].

Сам вариатор в готовом исполнении прекрасно справляется со своей задачей, но имеет один недостаток — у него нет возможности корректировать передаточное отношение в зависимости от факторов окружающей среды, т. е. такой вариатор сам по себе является пассивным. В гусеничной платформе должна быть возможность изменять передаточное отношение для достижения максимальной эффективности передвижения. В связи с этим необходимо модернизировать данный вариатор, обеспечив возможность подключения к нему привода, который будет напрямую влиять на передаточное отношение [5].

Модификация вариатора «Сафари» для работы с приводом активного вариатора. Для того чтобы механическая передача работала корректно, необходимо реализовать ее в виде двух шкивов, поскольку ремень, передающий крутящий момент с вала исполнительного двигателя на выходной вал с нагрузкой, имеет определенную длину, и при изменении передаточного отношения шкива только выходного вала будет меняться и радиус, по которому двигается ремень, а значит, центр масс ремня будет смещаться относительно своего начального положения. В таком случае, если шкив входного вала будет пассивным, то ремень будет испытывать нагрузки растяжения-сжатия, которые окажут негативное влияние на скорость изменения передаточного отношения, а также на ресурс самого ремня, поскольку он рассчитан на другой режим работы.

Сам же модифицированный вариатор (рис. 1) — это тот же вариатор «Сафари», но здесь убраны грузик и его крепление, упорная гайка для основной пружины имеет полностью цилиндрическую форму по внешней поверхности, в подвижную половину шкива установлен вал, прикрепленный к ней с помощью четырех винтов, также установлена пружина для того, чтобы гасить колебания и вибрации, возникающие при работе вариатора (обезопасить привод активного вариатора (редуктор) от ударов). Чтобы выходное звено не вращалось вместе с

выходным валом, крепление звена установлено через упорный подшипник: само крепление выходного звена впрессовано во внутренне кольцо подшипника, а внешнее кольцо установлено в крышку вала крепления виброгасящей пружины.

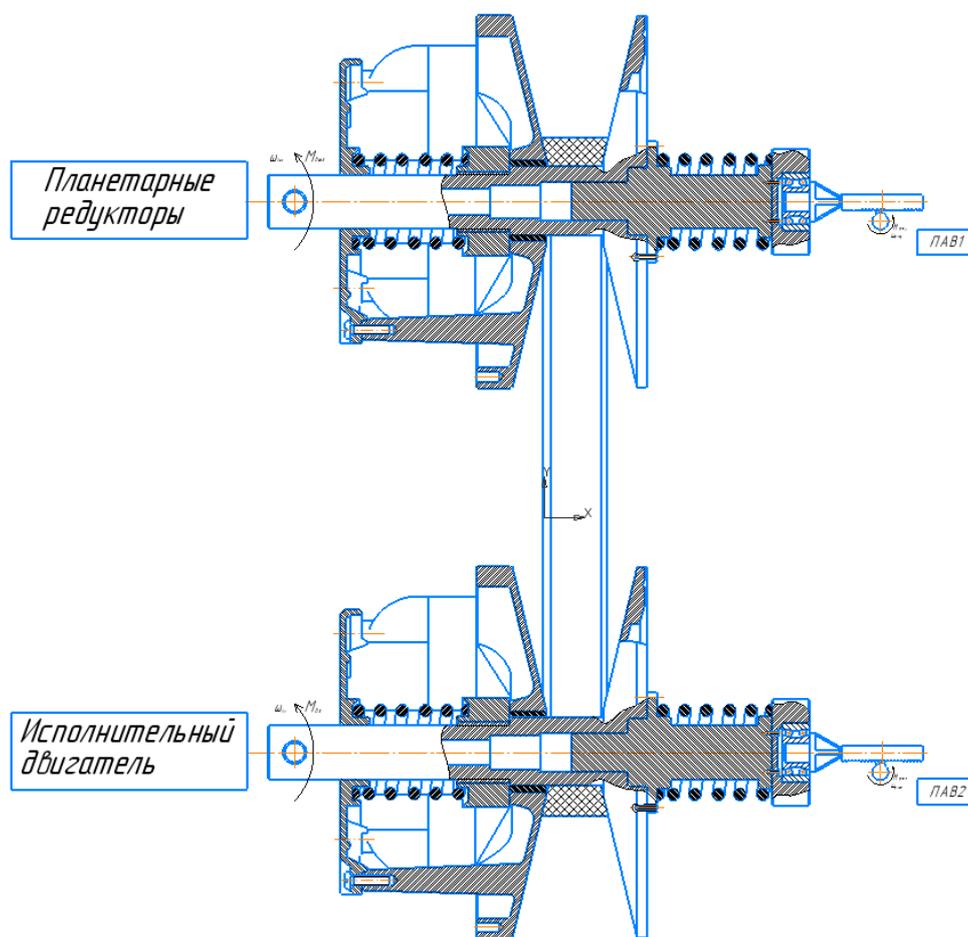


Рис. 1. Активный вариатор на базе двух вариаторов «Сафари»

Оба шкива имеют одинаковую конструкцию, но сами платы управления приводами активного вариатора программно инвертируют полученный сигнал на изменение передаточного отношения таким образом, чтобы работать в противофазе, т. е. когда у одного из шкивов расстояние между половинками уменьшается, у другого оно увеличивается на такое же расстояние, чтобы ремень не испытывал чрезмерного натяжения.

Вся система модифицированного вариатора, как было сказано выше, подключается к двум приводам активного вариатора.

Разработка конструкции привода. Кинематическая схема механической передачи привода активного вариатора представлена на рис. 2. Данный редуктор является планетарным четырехступенчатым с центральным ведущим коле-

сом и водилом, сателлиты вращаются вместе с водилом вокруг центральной оси передачи, а коронные шестерни закреплены в корпусе редуктора. На выходе идет смена угла передачи вращения под 90° с помощью пары конических шестерен, а также смена вращательного движения на поступательное благодаря цилиндрической шестерне с рейкой [6, 7].

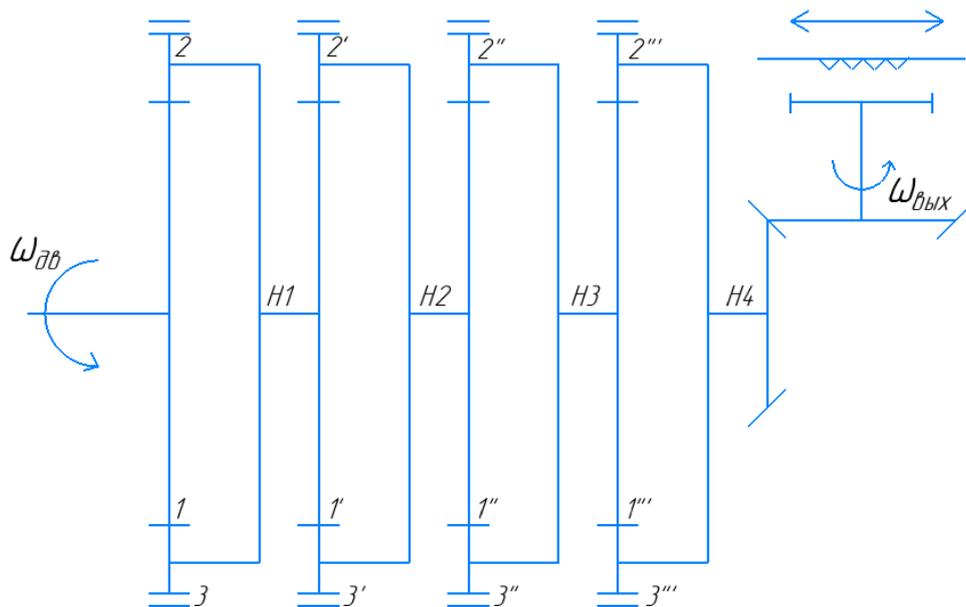


Рис. 2. Кинематическая схема механической передачи привода активного вариатора:
 1, 1', 1'', 1''' — солнечные шестерни; 2, 2', 2'', 2''' — сателлиты; 3, 3', 3'', 3''' — коронные шестерни;
 H1, H2, H3 — водила; H4 — водило, совмещенное с конической передачей; $\omega_{вв}$ — угловая скорость
 вращения входного вала; $\omega_{вых}$ — угловая скорость вращения выходного вала

Модель отладочного стенда привода активного вариатора. Модель разработанного отладочного стенда привода показана на рис. 3.

Стенд, представленный на рис. 3, состоит из трех главных блоков, которые установлены на основании стенда:

- платы управления приводом в корпусе;
- привода, состоящего из двигателя Maxon EC 4-pole 30 200 Watt, датчика скорости ENX EASY 16 XT и редуктора;
- блока имитации нагрузки, включающего в себя устройство крепления рейки, направляющие, нагрузку в виде пружин, работающих на растяжение и сжатие, а также датчиков конечного положения для первичной инициализации привода.

Данный стенд служит для первоначальной настройки привода, а также для отладки программ микроконтроллера, использующихся для управления приводом. Вместо блока имитации в настоящей платформе будет применяться модернизированный вариатор.

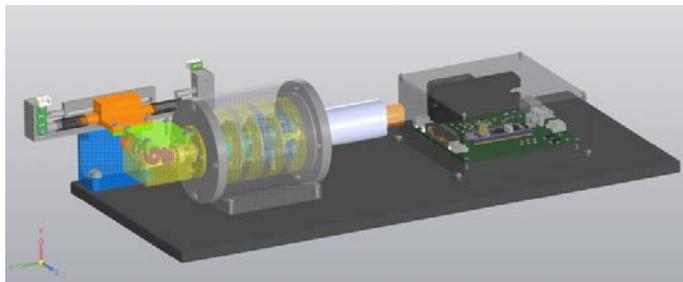


Рис. 3. Модель разработанного отладочного стенда привода

Выбор способа управления платформой. На основе проведенного исследования литературы по данному вопросу в статье [2] было принято решение разработать свою, уникальную систему рулевого управления [8, 9].

Кинематическая схема разработанного способа управления представлена на рис. 4.

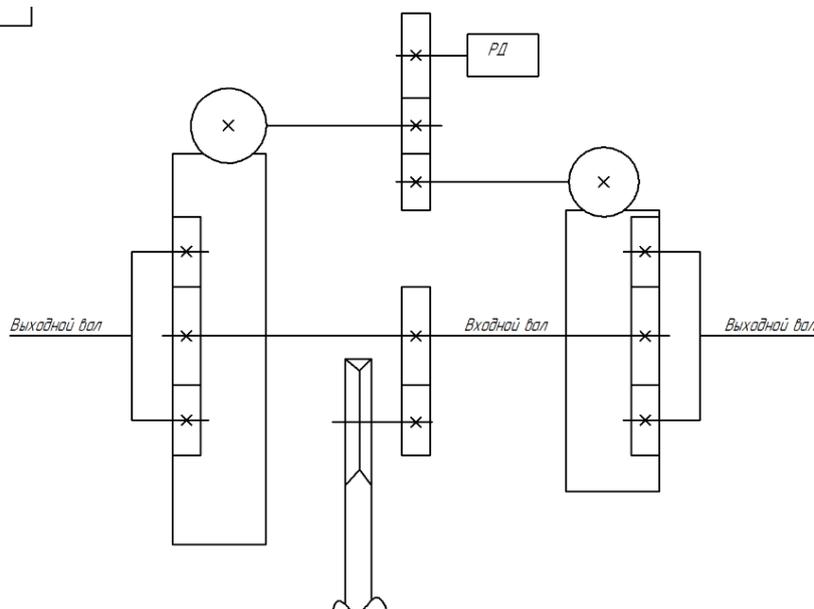


Рис. 4. Кинематической схема системы рулевого управления

Работа системы осуществляется следующим образом: Рулевой двигатель (РД) через червячные передачи вращает коронные шестерни двух одинаковых планетарных редукторов. Червячная система является самостопорящейся, поэтому при отключенном РД планетарные передачи работают в режиме закрепленной коронной шестерни, а поскольку обе передачи одинаковы, скорости вращения на выходных валах одинаковы, т. е. движение платформы осуществляется по прямой.

Управляя вращением коронных шестерней, можно изменять общее передаточное число планетарного редуктора, тем самым регулируя скорости вращения правой и левой гусениц платформы. При этом благодаря конструкции системы

направления вращения двух червячных передач, а следовательно, и коронных шестерен, различны. Таким образом, передаточное число одной планетарной передачи увеличивается пропорционально уменьшению передаточного отношения другой. А поскольку вращение коронных шестерен разнонаправлено, то и требуемый рулевой момент частично компенсируется, что позволяет уменьшить требуемую мощность рулевого двигателя.

Для реализации такого способа управления требуется изготовить под заказ только специальную коронную шестерню и червячную передачу под нее, а остальные детали являются стандартными, что облегчает их подбор и уменьшает стоимость самого изделия в целом. Пониженная требуемая мощность рулевого двигателя (по сравнению с ходовым) позволяет уменьшить общие затраты энергии и дает дополнительную дальность хода автономной платформы.

Далее необходимо выполнить моделирование, подтверждающее работоспособность разработанного способа рулевого управления.

Моделирование системы рулевого управления. В программе MATLAB построим общий вид модели (рис. 5) и графики, подтверждающие работоспособность разработанного способа рулевого управления [10, 11].

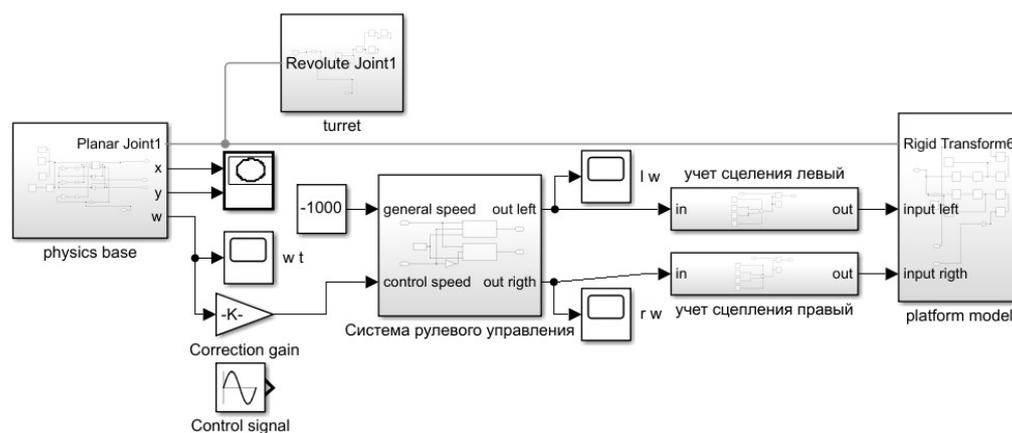


Рис. 5. Общий вид модели:

physics base — физическая составляющая платформы; turret — башня платформы; platform model — модель платформы; correction gain — корректирующий сигнал; control signal — контрольный сигнал

Для проверки работоспособности модели, отражающей разработанный способ управления, рассмотрим несколько возможных вариантов движения платформы.

Первый случай. Оценим возможность движения платформы по заданному синусоидальному сигналу при одинаковом сцеплении гусениц с поверхностью (рис. 6).

Результаты моделирования показывают, что траектория движения платформы синусоидальная, т. е. платформа реагирует на заданный рулевой сигнал и верно обрабатывает его.

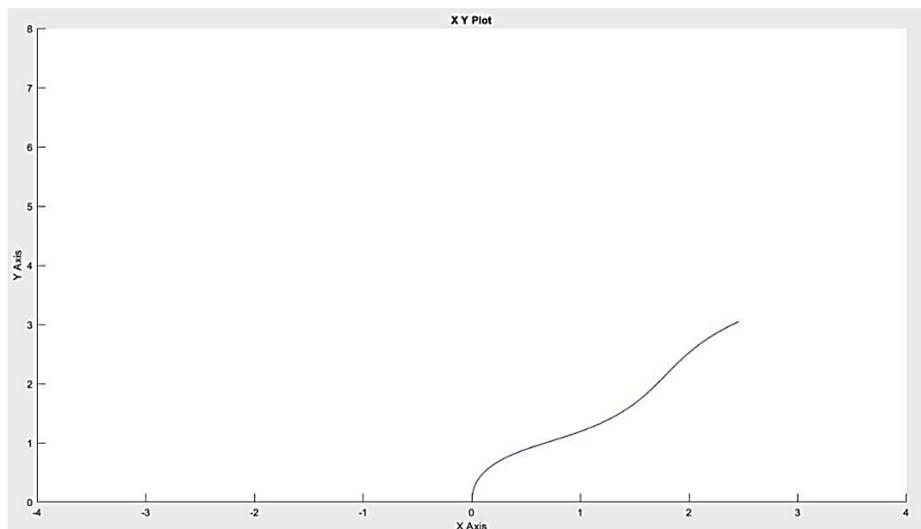


Рис. 6. Траектория движения платформы по заданному сигналу при одинаковом сцеплении гусениц с поверхностью (по x и y заданы координаты платформы)

Второй случай. Оценим возможность прямолинейного движения платформы при различных коэффициентах сцепления гусениц с поверхностью (рис. 7).

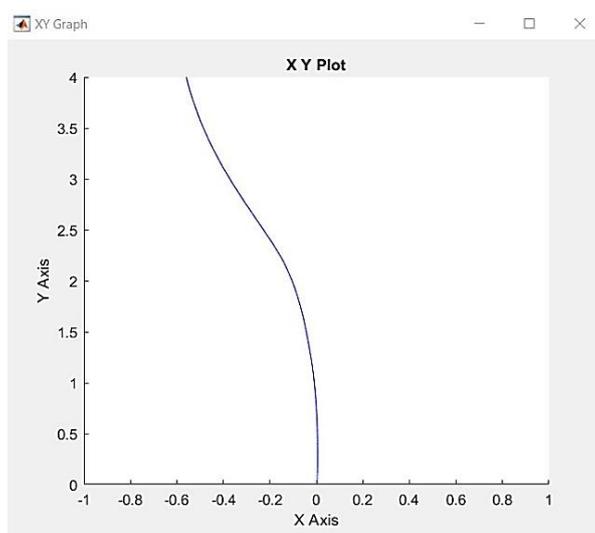


Рис. 7. Траектория движения платформы при различных коэффициентах сцепления гусениц с поверхностью (без управляющего сигнала)

Результаты моделирования показывают, что при таких условиях движения платформы без какого-либо управляющего сигнала прямолинейное движение отсутствует, поэтому в систему необходимо вводить корректирующий сигнал.

Третий случай. Оценим возможность прямолинейного движения платформы при различных коэффициентах сцепления гусениц с поверхностью с введением корректирующего сигнала (рис. 8).

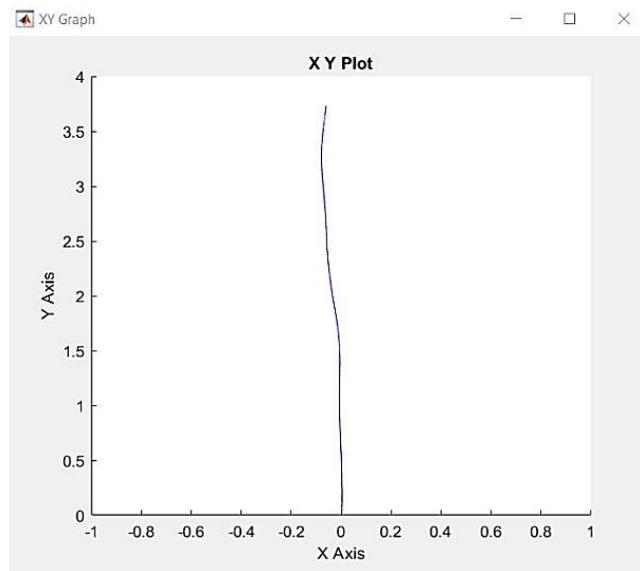


Рис. 8. Траектория движения платформы при различных коэффициентах сцепления гусениц с поверхность (с корректирующим сигналом)

В результате моделирования установлено, что после введения корректирующего сигнала, пропорционального угловой скорости, траектория движения платформы приблизилась к прямолинейной.

Таким образом, результаты моделирования показывают, что предложенная система рулевого управления имеет возможность выполнять функции управления и функции коррекции движения.

Заключение. В рамках данной статьи была выявлена необходимость разработки как системы рулевого управления, так и механической передачи универсальной роботизированной гусеничной платформы повышенной проходимости, чтобы завершить реализацию трансмиссии проектируемого мобильного робота, применяемого в службах спасения, т. е. способного решать задачи по разбору завалов, тушению пожаров, патрулированию, доставке грузов и т. п. благодаря смене навесного оборудования и силовой установки.

В связи с этим были решены задачи о выборе механической передачи с учетом ее дальнейшей модернизации, построении модели отладочного стенда привода активного вариатора в среде пакета КОМПАС-3D, выборе наиболее рационального способа рулевого управления, составлении кинематической схемы рулевого управления, проведении моделирования, подтверждающего работоспособность разработанного способа рулевого управления.

Литература

- [1] Машков К.Ю., Рубцов В.И., Рубцов И.В. Управление роботами и робототехническими комплексами. М., Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2014.
- [2] Завгородняя А.А., Рубцов В.И. Универсальная роботизированная гусеничная платформа повышенной проходимости. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 12. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-12-660>

- [3] Пронин Б.А., Ревков Г.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы). М., Машиностроение, 1980.
- [4] Вариатор: определение, применение, преимущества и недостатки. *provariatori.ru: веб-сайт*. URL: <http://provariatori.ru/variator/chto-takoe-variator.html> (дата обращения: 11.09.2021).
- [5] Вариатор Сафари. Описание и принцип действия. *motodom.su: веб-сайт*. URL: <http://motodom.su/variator-safari.html> (дата обращения: 15.09.2021).
- [6] Чемоданов Б.К., ред. Следящие приводы. Т. 1. М., Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 1999.
- [7] Потапцев И.С., Нарыкова Н.И., Перминова Е.А. и др. Разработка конструкторской документации при курсовом проектировании. Ч. 1. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.
- [8] Управление гусеничным трактором. *traktorspec.ru: веб-сайт*. URL: <https://traktorspec.ru/traktora/upravlenie-gusenichnym-traktorom.html> (дата обращения: 25.09.2021).
- [9] Как управлять танком? *steering.com.ua: веб-сайт*. URL: <https://steering.com.ua/blog/kak-upravlyat-tankom-146> (дата обращения: 15.09.2021).
- [10] Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. М., ДМК-Пресс, 2008.
- [11] Герман – Галкин С.Г. MATLAB & SIMULINK. Проектирование мехатронных систем на ПК. СПб., Корона-Век, 2008.

Румянцева Александра Анатольевна — студентка магистратуры кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Рубцов Василий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Румянцева А.А. Разработка механической передачи и системы рулевого управления универсальной роботизированной гусеничной платформы повышенной проходимости. *Политехнический молодежный журнал*, 2021, № 12(65). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-12-757>

**DEVELOPMENT OF A MECHANICAL TRANSMISSION
AND A STEERING SYSTEM FOR A UNIVERSAL
ROBOTIC TRACKED PLATFORM OF HIGH CROSS-COUNTRY ABILITY**

A.A. Rumyantseva

zavgorodnyaya@bmstu.ru

SPIN-code: 7042-1381

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The author investigated the relevance of the development of a universal robotic tracked platform with increased cross-country ability for solving problems of rescue services, such as patrolling, reconnaissance, dismantling debris, extinguishing fires, and transporting goods. The mechanical transmission (variator) of the platform has been modernized, which provides the ability to connect a drive to it, which will directly affect the gear ratio. The design of the drive has been developed, and a model for the debugging stand of the drive of the active variator has been proposed. The problem of the implementation of steering control has been solved. A proprietary steering system has been developed, and a kinematic diagram of the proposed method has been drawn up and described. Simulation has been carried out, which confirms the efficiency of the developed steering method.

Keywords

Versatility, increased cross-country ability, mobile robotic complex, tracked platform, modernization, mechanical transmission, variator, drive, control, simulation

Received 11.11.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

References

- [1] Mashkov K.Yu., Rubtsov V.I., Rubtsov I.V. *Upravlenie robotami i robototekhnicheskimi kompleksami* [Control on robots and robotic complexes]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014 (in Russ.).
- [2] Zavgorodnyaya A.A., Rubtsov V.I. All-terrain robotic tracked platform. *Politekhicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical Student Journal], 2020, no. 12. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-12-660> (in Russ.).
- [3] Pronin B.A., Revkov G.A. *Besstupenchatye klinoremennye i friktsionnye peredachi (variatory)* [Stepless V-belt and friction gears (variators)]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980 (in Russ.).
- [4] Variator: opredelenie, primeneniye, preimushchestva i nedostatki [Variator: definition, application, advantages and disadvantages]. *provariatori.ru: website* (in Russ.). URL: <http://provariatori.ru/variator/chto-takoe-variator.html> (accessed: 11.09.2021).
- [5] Variator Safari. *Opisanie i printsip deystviya* [Safari variator. Description and working principle]. *motodom.su: website* (in Russ.). URL: <http://motodom.su/variator-safari.html> (accessed: 15.09.2021).
- [6] Chemodanov B.K., ed. *Sledyashchie privody. T. 1* [Follow-up drives. Vol. 1]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1999 (in Russ.).
- [7] Potaptsev I.S., Narykova N.I., Perminova E.A. et al. *Razrabotka konstruktorskoy dokumentatsii pri kursovom proektirovanii. Ch. 1* [Development of constructor documentation at course engineering. P. 1]. Moscow, Bauman Publ., 2010 (in Russ.).

- [8] Upravlenie gusenichnym traktorom [Driving a caterpillar tractor]. *traktorspec.ru: website* (in Russ.). URL: <https://traktorspec.ru/traktora/upravlenie-gusenichnym-traktorom.html> (accessed: 25.09.2021).
- [9] Kak upravlyat' tankom? [How to drive a tractor?] *steering.com.ua: website* (in Russ.). URL: <https://steering.com.ua/blog/kak-upravlyat-tankom-146> (accessed: 15.09.2021).
- [10] D'yakov V.P. Simulink 5/6/7: Samouchitel' [Simulink 5/6/7: self-help manual]. Moscow, DMK-Press Publ., 2008 (in Russ.).
- [11] German – Galkin S.G. MATLAB & SIMULINK. Proektirovanie mekhatronnykh sistem na PK [MATLAB & SIMULINK. Design of mechatronic systems on a computer]. Sankt-Petersburg, Korona-Vek Publ., 2008 (in Russ.).

Rumyantseva A.A. — Master's Degree Student, Department of Robotic Systems and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Rubtsov V.I., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Robotic Systems and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Rumyantseva A.A. Development of a mechanical transmission and a steering system for a universal robotic tracked platform of high cross-country ability. *Politekhnichestkiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2021, no. 12(65). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-12-757.html> (in Russ.).