

УНИВЕРСАЛЬНАЯ РОБОТИЗИРОВАННАЯ ГУСЕНИЧНАЯ ПЛАТФОРМА ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ

А.А. Завгородняя

zavgorodnyaya@bmstu.ru

SPIN-код: 7042-1381

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

Аннотация

Рассмотрен вопрос актуальности разработки универсальной роботизированной гусеничной платформы повышенной проходимости для решения задач служб спасения, таких как патрулирование, разведка, разбор завалов, тушение пожаров, перевозка грузов. Выбрана силовая установка, способная решать весь спектр задач, стоящих перед разрабатываемым универсальным мобильным робототехническим комплексом, и включающая в себя двигатель, обеспечивающий платформу необходимым крутящим моментом (в зависимости от внешней среды тип исполнительного двигателя необходимо менять, т. е. использовать двигатель внутреннего сгорания, двигатель постоянного тока или асинхронный двигатель), механическую передачу, плавно изменяющую передаточное отношение (вариатор). Решена задача реализации рулевого управления. Составлена общая структурная схема исполнительного уровня.

Ключевые слова

Универсальность, повышенная проходимость, мобильный робототехнический комплекс, гусеничная платформа, исполнительный двигатель, механическая передача, вариатор, управление, структурная схема

Поступила в редакцию 11.11.2020

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

Введение. На данном этапе развития цифровых технологий происходит повсеместное внедрение мобильных роботов в нашу повседневную жизнь. Среди роботов есть такие, которые работают на складе в качестве грузчиков, осуществляют патрулирование границ, тушат пожары, помогают в поисковых операциях, в разборе завалов [1]. Каждый из них производится либо в единичном экземпляре, либо мелкой серией экземпляров, и спектр выполняемых задач мобильного робота каждой из конструкций очень узок. Это говорит о том, что переоборудование и использование таких роботов не по изначальному назначению практически невозможно.

Разработка мобильного робота для каждого конкретного случая является очень дорогим проектом, который может длиться года, а иногда и десятки лет, поскольку в процессе испытаний в конструкцию вносятся изменения, а также в связи с тем, что благодаря быстрому развитию цифровых технологий решения, применявшиеся на начальных этапах разработки, сильно устаревают. В связи с этим возникла необходимость в разработке универсальной гусеничной платформы повышенной проходимости для служб спасения, поскольку в данной отрасли очень важны сто-

имость единицы изделия и сроки разработки. Данная платформа будет являться базой с возможностью быстрой модернизации (смены навесного оборудования и силовой установки) для решения большого спектра задач, стоящих перед службами спасения (патрулирование, разведка, разбор завалов, тушение пожаров, перевозка грузов).

Выбор класса проектируемого мобильного робототехнического комплекса. На начальном этапе разработки мобильного робототехнического комплекса (МРК) необходимо определить, к какому классу мобильных роботов он будет относиться.

В современном мире существует множество видов классификации мобильных роботов, но главным для нас является массогабаритное деление, поскольку платформа передвижная, а значит, нужно будет учитывать ее размеры. Но и от массы зависит немало, ведь очень тяжелую технику на гусеничном ходу в городских условиях эксплуатировать нельзя. В связи с этим будем считать, что разрабатываемая платформа является МРК среднего класса (масса 1...10 т, потребляемая мощность 10...60 кВт) [1].

Основные задачи, решаемые при разработке. При разработке МРК проводят исследование на предмет актуальности создаваемого изделия и определения круга решаемых с помощью него задач. По результатам данного исследования составляют техническое задание, где описывают все требования к проектируемому изделию. После этого разрабатывают конструкторскую документацию с учетом технологий производства компонентов. Поскольку МРК — это технически сложное изделие, конструкторская часть подразделяется на множество задач, среди которых можно выделить основные, напрямую влияющие на способность МРК передвигаться в рабочей среде:

- выбор типа исполнительного двигателя;
- подбор конструкции механической передачи;
- выбор способа управления платформой;
- составление структурной схемы исполнительного уровня.

Выбор типа исполнительного двигателя. Поскольку потребляемая мощность МРК среднего класса обычно составляет 10...60 кВт, это подразумевает под собой использование в тяговых установках двигателей от мототехники либо от маломощных автомобилей. Так поступают в большинстве случаев, но иногда при использовании МРК в различных средах возникает необходимость в моментальном тяговом моменте (труднопроходимые места). Также при работе МРК сама окружающая среда может быть опасной (высокая температура, наличие искр). В таких случаях в качестве основного используют электрический двигатель. Это может быть бесколлекторный двигатель постоянного тока, асинхронная или синхронная машина с аккумуляторным блоком, которые дадут на выходе максимальный крутящий момент с самых низких оборотов, а также устойчивость к высоким температурам и взрывоопасным средам [2]. Поэтому при разработке МРК будут использоваться как традиционные двигатели внутреннего сгорания, так и электрические двигатели. Это даст возможность быстро

переоборудовать платформу для удовлетворения требований заказчика и снизить затраты на производство самого силового каркаса, ведь он будет единым для двигателей всех типов и оснастки, что устанавливается на верхнюю часть платформы.

Выбор какого-то определенного двигателя (его типа и номинальной мощности) подразумевает, что количество часов работы в режиме номинальной мощности и КПД самого двигателя уже известно, а это дает возможность прогнозировать срок службы. Но чаще всего при высоких нагрузках из строя выходит именно механическая передача, поэтому выбор типа редуктора и его устройства — вопрос очень важный, так как строение механической передачи сильно влияет на срок эксплуатации МРК, а также на КПД всей силовой установки в целом.

Подбор конструкции механической передачи. В настоящее время существуют два типа редукторов: классический ступенчатый и бесступенчатый, более известный как вариатор [3].

Редуктор первого типа имеет ряд неоспоримых преимуществ: высокая надежность шестерен (он может переносить нагрузки без ощутимого вреда для себя); способность работать на большом диапазоне оборотов, а также возможность реализовывать крутящий момент сразу. Недостаток такого редуктора — это переключения передаточного отношения, которые сопровождаются резкой сменой оборотов двигателя, что негативно сказывается на ресурсе силовой установки [4].

Вариатор, он же бесступенчатый редуктор, позволяет изменять передаточное отношение плавно, что дает мягкость хода. Также вариатор подстраивается под обороты двигателя и нагрузку, что дает возможность силовому агрегату работать в наиболее комфортном для него режиме, т. е. на номинальных оборотах, а это сильно продляет ресурс двигателя. Но резко трогаться с такой механической передачей не получится, что является недостатком. Вариатор дороже в ремонте и обслуживании, если сравнивать механическую коробку передач и вариатор, устанавливаемый в автомобили [5–7]. Если же рассматривать технику, которая не имеет таких мощных двигателей в качестве тяговых, то вариаторы от снегоходов после модификации подходят по характеристикам, а также по цене для установки в МРК. Ведь сами снегоходы передвигаются по пересеченной местности на довольно больших скоростях, а также преодолевают нагрузки, сравнимые с теми, что предполагаются в качестве опорных при разработке МРК [8]. Поэтому в качестве основной механической передачи следует использовать модифицированный снегоходный вариатор, управление передаточным отношением которого будет осуществляться с помощью специального привода.

Выбор способа управления платформой. Следующая задача разработки — это выбор способа реализации рулевого управления с учетом того, что разрабатываемый МРК является автономным. За все время существования гусеничной техники появилось несколько видов рулевого управления, однако рассмотрим не все, а лишь те, где исполнительный двигатель один, поскольку в разрабатываемом МРК как раз один тяговый двигатель. Начнем с танкового управления.

Существует два самых распространенных вида управления: с помощью фрикционов и с помощью бортовых коробок [9].

Суть первого вида управления сводится к тому, что момент на ведущие шестерни передается одинаково во время движения танка строго вперед или строго назад. При необходимости поворота с помощью специальных рычагов происходит подтормаживание левой, или правой шестерен, в результате чего один из гусеничных траков начинает вращаться медленнее, что позволяет повернуть в сторону более медленной гусеницы [9]. Такой вид управления имеет один главный недостаток — перегрев тормозов, вызывающий износ всего механизма передачи момента.

Следующий вид танкового управления осуществляется с помощью бортовых коробок. Суть его заключается в том, что в силовой установке присутствуют три коробки передач: одна основная и две бортовых. Передаточные отношения всех трех коробок идентичны, в связи с чем поворот осуществляется при установке разных передаточных отношений бортовых коробок, т. е. скорость движущих шестерен различна [9]. Но такой вариант управления имеет один очень большой недостаток — из-за очень большого числа зацеплений и люфтов происходит износ шестерен, т. е. выход из строя бортовой коробки означает дорогостоящий ремонт или замену всей коробки.

Представленные выше виды управления подразумевают под собой участие человека, но в них он выполняет простые механические действия, а значит, их можно автоматизировать. Но с экономической точки зрения это невыгодно, так как придется закупать не только уже готовое решение для управления, но и разрабатывать способ автоматизации, а это дополнительные затраты.

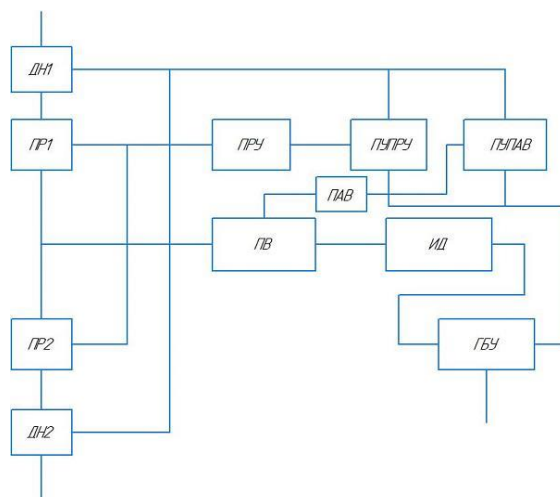
Исходя из сказанного выше, необходимо найти автоматизированный способ управления, имеющий минимальное количество зацеплений и трущихся деталей. Такой способ существует и применяется для быстрого механического реверса электрического двигателя, которые используются в прецизионных и высокоскоростных приводах, где требуется моментальное изменение направления вращения выходного звена, но не в МРК. Для этого применяются две электромагнитные муфты, которые при необходимости отключают одну цепь передач и включают другую. При этом сам двигатель не изменяет направление вращения якоря, что продлевает срок его службы и повышает быстродействие системы [10].

Но все же для реализации такого управления необходимо дополнительно подбирать муфты. Кроме того, места включения и выключения участков цепи передачи вращения будут уязвимы к износу и повреждениям, помимо этого растет потребление энергии такой системы от бортовой сети платформы, что также снижает дальность автономного передвижения гусеничной платформы. Существует еще одно препятствие для применения такой схемы — при увеличении скоростей и моментов выходного звена такая конструкция будет слишком быстро изнашиваться, и при переключениях участков цепи из-за больших моментов может произойти поломка редуктора или какой-либо из муфт. Поэтому необходимо разработать уникальную систему рулевого управления, которая будет использовать только один двигатель для управления приводом, а также будет реализовыв-

вать дополнительное передаточное отношение, за счет чего момент на выходном валу будет увеличиваться, а скорость вращения вала — снижаться.

Сконструировать такую систему можно на основе последнего способа, убрав муфты и реализовав с помощью паразитной шестерни возможность противоположного вращения выходных звеньев редуктора, что позволит изменять скорости вращения движущих катков МРК. Реализация такого способа управления требует изготовления под заказ определенной номенклатуры изделий, но заменять или ремонтировать их часто нет необходимости. А отсутствие огромного количества дополнительных потребителей мощности электроэнергии бортовой сети обеспечивает дополнительную дальность хода автономной платформе, что является приоритетом в выборе типа управления.

Составление структурной схемы исполнительного уровня. После проведенного исследования можно составить структурную схему исполнительного уровня разрабатываемого МРК (см. рисунок).



Структурная схема исполнительного уровня

В движение МРК приводит исполнительный двигатель (ИД), от него момент передается на привод вариатора (ПВ), передаточное отношение которого изменяется с помощью привода активного вариатора (ПАВ), который, в свою очередь, управляется платой управления ПАВ (ПУПАВ). Далее крутящий момент передается через планетарные редукторы (ПР1 и ПР2) и датчики нагрузки (ДН1 и ДН2) на ведущие шестерни МРК. Управление механически осуществляется с помощью привода рулевого управления (ПРУ), который получает управляющие сигналы от платы управления ПРУ (ПУПРУ). Сами же платы управления ПРУ и ПАВ получают сигналы от головного блока управления (ГБУ), который и осуществляет основное управление всем МРК, ведет обработку сигналов обратной связи и при необходимости получает управляющие сигналы от оператора.

Разработка данной структурной схемы не является последним этапом в разработке всего МРК, так как необходимо разрабатывать систему технического

зрения, блоки управления, общую конструкцию платформы с креплением для ранее разработанных узлов и т. д.

Заключение. В рамках данной статьи была выявлена необходимость в разработке МРК среднего класса, представляющего собой универсальную роботизированную гусеничную платформу повышенной проходимости. В связи с этим были решены задачи о выборе типа исполнительного двигателя, механической передачи и рулевого управления. После проведенного исследования была составлена структурная схема исполнительного уровня разрабатываемого МРК.

Литература

- [1] Машков К.Ю., Рубцов В.И., Рубцов И.В. Управление роботами и робототехническими комплексами. М., Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2012.
- [2] Лашкевич М. Электродвигатели: какие они бывают. *habr.com: веб-сайт*. URL: https://habr.com/ru/company/npf_vektor/blog/371749/ (дата обращения: 24.10.2020).
- [3] Пронин Б.А., Ревков Г.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы). М., Машиностроение, 1980.
- [4] Чемоданов Б.К. Следящие приводы. Т. 1. М., Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 1999.
- [5] Вариатор: определение, применение, преимущества и недостатки. *provariatori.ru: веб-сайт*. URL: <http://provariatori.ru/variator/chto-takoe-variator.html> (дата обращения: 10.09.2020).
- [6] Труханович Г.В. Универсальная бесступенчатая передача. *Изобретатель*, 2010, № 5-6, с. 22–27.
- [7] Вариаторная коробка передач. *autoustroistvo.ru: веб-сайт*. URL: <http://autoustroistvo.ru/transmissiya/variator/> (дата обращения: 10.09.2020).
- [8] Какие вариаторы устанавливаются на Буран? *provariatori.ru: веб-сайт*. URL: <http://provariatori.ru/moto/snegohod/variatory-snegohoda-buran.html> (дата обращения: 10.09.2020).
- [9] Как управлять танком? *steering.com: веб-сайт*. URL: <https://steering.com.ua/blog/kak-upravlyat-tankom-146> (дата обращения: 10.09.2020).
- [10] Розман Я.Б., Поздеев А.Д. Электромагнитные муфты и тормоза с массивным якорем. М., Госэнергоиздат, 1963.

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

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

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Завгородняя А.А. Универсальная роботизированная гусеничная платформа повышенной проходимости. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 12(53). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-12-660>

ALL-TERRAIN ROBOTIC TRACKED PLATFORM

A.A. Zavgorodnyaya

zavgorodnyaya@bmstu.ru

SPIN-code: 7042-1381

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper is devoted to the issue of the relevance of the development of a universal robotic tracked platform with increased cross-country ability to solve the problems of rescue services, such as patrolling, reconnaissance, dismantling debris, extinguishing fires, and transporting goods. The selected engine unit is capable of solving a wide range of tasks faced by the developed universal mobile robotic complex, and includes an engine that provides the platform with the necessary torque (the type of the executive engine must be changed depending on the external environment, i.e. an internal combustion engine, DC motor or asynchronous motor), mechanical transmission, smoothly changing the gear ratio (variator). The task of implementing steering control has been solved. A general structural diagram of the executive level has been drawn up.

Keywords

Versatility, increased cross-country ability, mobile robotic complex, tracked platform, executive engine, mechanical transmission, variator, control, structural diagram

Received 11.11.2020

© Bauman Moscow State Technical University, 2020

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., 2012 (in Russ.).
- [2] Lashkevich M. Elektrodvigateli: kakie oni byvayut [Electric engines: what can they be]. *habr.com: website* (in Russ.). URL: https://habr.com/ru/company/npf_vektor/blog/371749/ (accessed: 24.10.2020).
- [3] Pronin B.A., Revkov G.A. Besstupenchatye klinoremennyye i friktsionnyye peredachi (variatory) [Variable-speed V-belt and friction drives (variators)]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980 (in Russ.).
- [4] Chemodanov B.K. Sledyashchie privody. T. 1 [Servo drives. Vol. 1]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1999 (in Russ.).
- [5] Variator: opredelenie, primeneniye, preimushchestva i nedostatki [Variators: definition, application, advantages and disadvantages]. *provariatori.ru: website* (in Russ.). URL: <http://provariatori.ru/variator/chto-takoe-variator.html> (accessed: 10.09.2020).
- [6] Trukhanovich G.V. Universal variable-speed drive. *Izobretatel'*, 2010, no. 5-6, pp. 22–27 (in Russ.).
- [7] Variatornaya korobka peredach [Variable-speed gear box]. *autoustroistvo.ru: website* (in Russ.). URL: <http://autoustroistvo.ru/transmissiya/variator/> (accessed: 10.09.2020).
- [8] Kakie variatory ustanavlivayutsya na Buran? [Which variators can be set in Buran?] *provariatori.ru: website* (in Russ.). URL: <http://provariatori.ru/moto/snegohod/variatory-snegohoda-buran.html> (accessed: 10.09.2020).

- [9] Kak upravlyat' tankom? [How to drive a tank?] *steering.com: website* (in Russ.). URL: <https://steering.com.ua/blog/kak-upravlyat-tankom-146> (accessed: 10.09.2020).
- [10] Rozman Ya.B., Pozdeev A.D. Elektromagnitnye mufty i tormoza s massivnym yakorem [Electromagnetic gears and breaks with massive anchor]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 1963 (in Russ.).

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

Scientific advisor — Rubtsov V.I., Assoc. Professor, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Zavgorodnyaya A.A. All-terrain robotic tracked platform. *Politekhnicheskij molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 12(53). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-12-660.html> (in Russ.).