

УДК (UDC) 621.86

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ТРАНСМИССИИ  
ПЕРСПЕКТИВНОГО ШАССИ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МОБИЛЬНОГО  
ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕГРУЗОЧНОГО КАНАТНОГО КОМПЛЕКСАTHE MAIN RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF THE TRANSMISSION  
A PROMISING CHASSIS FOR THE PLACEMENT OF A MOBILE  
TRANSPORT AND OVERLOADING ROPE COMPLEXТаричко В.И.<sup>1</sup>, Перминова Д.И.<sup>2</sup>  
Tarichko V.I.<sup>1</sup>, Perminova D.I.<sup>2</sup><sup>1</sup> – АО «Брянский автомобильный завод» (Брянск, Россия)<sup>2</sup> – Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)<sup>1</sup> – Bryansk Automobile Plant JSC (Bryansk, Russian Federation)<sup>2</sup> – Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

**Аннотация.** В статье представлены результаты разработки шасси для размещения транспортно-технологических машин, оснащенные трансмиссией с возможностью отбора большой мощности (по отношению к мощности штатного ходового двигателя). На основе анализа рынка и рекламных кампаний ведущих производителей грузовых автомобилей и колесных шасси сделан вывод о конкурентных преимуществах шасси с большим отбором мощности. Приведена подробная схема разработанной трансмиссии. Представлена математическая модель для исследования динамических рабочих процессов в трансмиссии при использовании шасси для размещения базовых станций мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов (мобильных канатных дорог).

**Ключевые слова:** мобильная канатная дорога, базовая станция, шасси, трансмиссия, отбор мощности, динамика, моделирование.

**Дата принятия к публикации:** 25.01.2021  
**Дата публикации:** 25.03.2021

**Сведения об авторах:**

**Таричко Вадим Игоревич** – кандидат технических наук, заместитель генерального директора – главный конструктор АО «Брянский автомобильный завод», e-mail: 32.6909@mail.ru.

**Перминова Диана Игоревна** – студент ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: di.perm01@mail.ru

**Abstract.** The article presents the results of the development of a chassis for the placement of transport and technological machines equipped with a transmission with the possibility of taking off high power (in relation to the power of the standard running engine). Based on the analysis of the market and advertising campaigns of the leading manufacturers of trucks and wheel chassis, a conclusion is made about the competitive advantages of a chassis with a large selection of power. A detailed diagram of the developed transmission is given. A mathematical model is presented for the study of dynamic working processes in the transmission when using the chassis for the placement of base stations of mobile transport and reloading rope complexes (mobile cable cars).

**Keywords:** mobile ropeway, base station, chassis, transmission, power take-off, dynamics, simulation.

**Date of acceptance for publication:** 25.01.2021  
**Date of publication:** 25.03.2021

**Authors' information:**

**Vadim I. Tarichko** – Candidate of Technical Sciences, Deputy general director – General designer at Bryansk Automobile Plant JSC, e-mail: 32.6909@mail.ru.

**Diana I. Perminova** – student, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: di.perm01@mail.ru.

**Благодарности**

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-докторов наук №МД-422.2020.8

**Acknowledgements**

The study was supported by Presidential Grant for Governmental Support to Young Russian Scientists No. №MD-422.2020.8

## 1. Введение

Мобильные транспортно-перегрузочные канатные комплексы на базе различных шасси предназначены для перевозки грузов и пассажиров в сложных условиях. Они могут быть использованы при строительстве объектов нефте- и газотранспортных систем, ликвидации последствий стихийных бедствий, при освоении труднодоступных и арктических земель. Оборудование канатной дороги монтируется на мобильных шасси различной конструкции, как правило, на колесных шасси или грузовых автомобилях. Такие машины называются базовыми станциями мобильных транспортно-технологических канатных комплексов [1-11].

Опыт создания и модернизации транспортно-технологических машин различного назначения показывает, что для эффективного выполнения ими производственных задач необходимо наличие отбора мощности от штатного ходового двигателя шасси как для привода механического навесного оборудования, так и привода насосов гидравлических приводов [9, 12]. При этом энергетический модуль должен быть оснащен рациональной и надежной системой отбора мощности от двигателя на привод навесного оборудования [12].

## 2. Анализ рынка и рекламных кампаний по продвижению колесных шасси

В ходе исследования выполнен анализ рекламных кампаний ведущих производителей колесных шасси (грузовых автомобилей): КамАЗ, ГАЗ, Урал, МАЗ, БАЗ, MAN, Volvo, Mercedes, ISUZU, Hyundai. Исследование проводилось как на основе расширенного информационного поиска в сети Интернет и социальных сетях, так и с использованием базы знаний АО «Брянский автомобильный завод». Данные работы выполнены в рамках реализации положений, изложенных в работе [13].

Большая часть рекламных и коммуникативных кампаний в предметной области проходит на базе специализированных сайтов, порталов и форумов.

В меньшей степени используются средства SMM-маркетинга, что объясняется достаточно узкой целевой аудиторией, представители которой предпочитают традиционные формы получения рекламной информации (деловые переговоры, специализированные выставки, каталоги оборудования).

Текстовые и видео-блоги в области грузовых автомобилей посвящены непосредственно их эксплуатации и повседневным моментам жизни водителей и не могут служить источником достоверной информации о рынке грузовых автомобилей и колесных шасси.

Проведенный анализ предложений на рынке показал, что от штатного ходового двигателя грузового автомобиля возможен отбор до 40% номинальной мощности, что не достаточно для тяжелых и сверхтяжелых мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Например, мощность привода канатной дороги производительностью 400 т/ч равна 220 кВт, что составляет 75% мощности двигателя грузового автомобиля КамАЗ-740, 95% – КамАЗ-43114 или 64% – шестисосного колесного шасси БАЗ-69099.

Для решения этой проблемы необходимо устанавливать дополнительный двигатель, как это делается, например, у миксеров для перевозки бетона. Однако, условия компоновки [14] мачтового оборудования мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов с центральным креплением на раме не предполагают размещение дополнительных двигателей. В этом случае требуется обеспечение большего отбора мощности от штатного ходового двигателя.

Таким образом, можно сделать вывод, что наличие возможности отбора большой мощности является важным не только с технической точки зрения [12], но и позволит получить конкурентное преимущество на рынке современных колесных шасси, предназначенных для размещения энергоемкого технологического оборудования, в том числе мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов.

В связи с этим, задача создания новых видов трансмиссии колесных шасси является актуальной.

### 3. Конструкция трансмиссии перспективного шасси для размещения мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса

Конструкция трансмиссии перспективного шасси для размещения мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса показана на рис. 1. Она учитывает потребность в отборе большой мощности от штатного ходового двигателя и защищена патентом на изобретение [15].

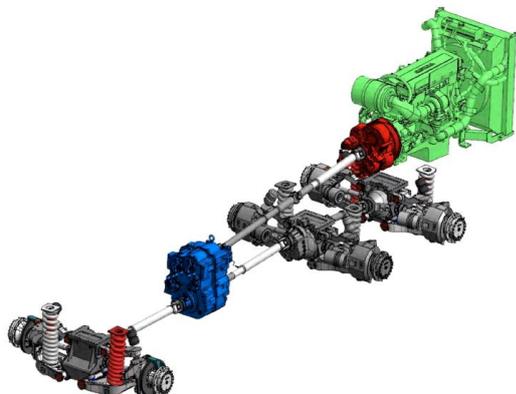


Рис. 1. Трехмерная модель трансмиссии [15]

Трансмиссия (рис. 2), по аналогии с типовыми конструкциями трансмиссий грузовых автомобилей [16], содержит коробку передач 3; раздаточную коробку 4; карданную передачу 5; карданные валы 6, 7, 8; редуктор 9 переднего моста и два редуктора 10 задних мостов [15].

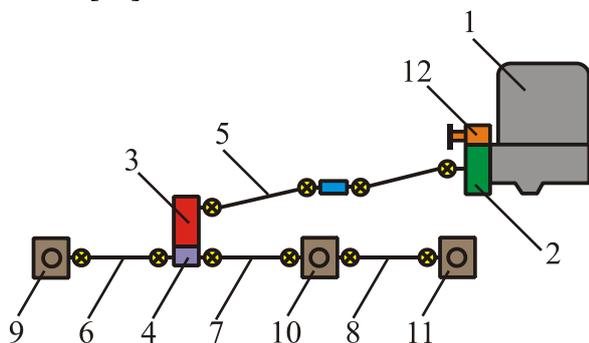


Рис. 2. Структурная схема трансмиссии [15]:

- 1 - двигатель; 2 - гидротрансформатор;
- 3 - коробка передач; 4 - раздаточная коробка;
- 5 - карданная передача с промежуточной опорой; 6, 7, 8 - карданные валы; 9 - редуктор переднего моста; 10, 11 - редукторы заднего моста; 12 - коробка отбора мощности

Разработанная конструкция трансмиссии отличается следующими техническими особенностями [15]:

- коробка передач 3 представляет собой автоматическую коробку передач и объединена с раздаточной коробкой 4 единым корпусом, размещенным в средней части автомобиля;

- вторичный вал раздаточной коробки соединен с редукторами переднего и заднего мостов посредством карданных валов 6, 7, 8;

- двигатель 1 дополнительно содержит установленный на картере маховика гидротрансформатор 2, передающий крутящий момент от двигателя посредством выходного вала через карданную передачу на первичный вал коробки передач 4, а также коробку отбора мощности 12, для передачи мощности технологическому оборудованию, образующие вместе единый силовой агрегат;

- возможна установка двигателя в передней или задней части рамы, в зависимости от компоновки оборудования мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса;

- трансмиссия обеспечивает возможность отбора до 70% мощности двигателя для привода технологического оборудования, в том числе, для привода канатной системы мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса [15].

### 4. Методика исследования рабочих процессов трансмиссии при эксплуатации мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса

Для исследования рабочих процессов трансмиссии использовались подходы, подробно рассмотренные в работах [17-21]. Источник энергии (двигатель) моделировался с помощью силовых характеристик а механическая часть трансмиссии представлялась в виде совокупности инерционных элементов, соединенных упругими и диссипативными связями [17].

Однако наличие гидротрансформатора и автоматической коробки передач потребовало разработки дополнительных математиче-

ских моделей, учитывающих особенности работы этих узлов. Также учитывалось распределение мощности между потребителями (мостами и нагрузкой на отборе).

В общем виде математическая модель для исследования динамических процессов в разрабатываемой трансмиссии выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} J_0 \ddot{\varphi}_0 + c_{01} \left( \varphi_0 - \frac{\varphi_1}{i_{01}} \right) + \alpha_{01} \left( \dot{\varphi}_0 - \frac{\dot{\varphi}_1}{i_{01}} \right) = M_{D0}; \\ J_1 \ddot{\varphi}_1 + c_{12} \left( \varphi_1 - \frac{\varphi_2}{i_{12}} \right) + \alpha_{12} \left( \dot{\varphi}_1 - \frac{\dot{\varphi}_2}{i_{12}} \right) - \frac{c_{01}}{i_{01}} \left( \varphi_0 - \frac{\varphi_1}{i_{01}} \right) - \frac{\alpha_{01}}{i_{01}} \left( \dot{\varphi}_0 - \frac{\dot{\varphi}_1}{i_{01}} \right) = 0; \\ \dots \\ J_i \ddot{\varphi}_i + c_{i+1} \left( \varphi_i - \frac{\varphi_{i+1}}{i_{i+1}} \right) + \alpha_{i+1} \left( \dot{\varphi}_i - \frac{\dot{\varphi}_{i+1}}{i_{i+1}} \right) - \frac{c_{i-1i}}{i_{i-1i}} \left( \varphi_{i-1} - \frac{\varphi_i}{i_{i-1i}} \right) - \frac{\alpha_{i-1i}}{i_{i-1i}} \left( \dot{\varphi}_{i-1} - \frac{\dot{\varphi}_i}{i_{i-1i}} \right) = 0; \\ \dots \\ J_N \ddot{\varphi}_N - \frac{c_{N-1N}}{i_{N-1N}} \left( \varphi_{N-1} - \frac{\varphi_N}{i_{N-1N}} \right) - \frac{\alpha_{N-1N}}{i_{N-1N}} \left( \dot{\varphi}_{N-1} - \frac{\dot{\varphi}_N}{i_{N-1N}} \right) = -M_S, \end{cases}$$

где  $i=0\dots N$  – порядковый номер элемента трансмиссии (от двигателя к движителям или навесному оборудованию);  $J_i$  – момент инерции  $i$ -го элемента трансмиссии, приведенный к его входному валу;  $\varphi_i$  – угол поворота  $i$ -го элемента трансмиссии;  $c_{ij}$  – крутильная жесткость элемента трансмиссии;  $\alpha_{ij}$  – коэффициент диссипации элемента трансмиссии;  $M_{D0}$  – движущий момент, передаваемый от двигателя на входное звено трансмиссии через сцепление;  $M_S$  – момент сопротивления, создаваемый приводимыми в движение исполнительными механизмами или насосами гидравлической части гидромеханической трансмиссии оборудования канатной дороги;  $i_{ij}$  – передаточные значения элементов трансмиссии [17].

Так как схема (рис. 2) предполагает разветвление, то при составлении уравнений движения необходимо учитывать баланс мощностей в виде ряда алгебраических уравнений:

$$P_i = \sum_j P_{i,j},$$

где  $P_i$  – подводимая мощность до разветвления;  $P_{i,j}$  – мощность на  $j$ -й ветви после раз-

ветвления (с учетом коэффициента полезного действия механизма разветвления).

Разветвление кинематической схемы может также приводить к циркуляции мощности, что приводит к перегрузке отдельных элементов трансмиссии.

Влияние гидротрансформатора учитывается с помощью получаемой экспериментально безразмерной характеристики, связывающей моменты на входе и выходе с текущим передаточным отношением.

## 5. Основные выводы

В ходе исследования выполнена разработка шасси для размещения транспортно-технологических машин, оснащенные трансмиссией с возможностью отбора большой мощности (по отношению к мощности штатного ходового двигателя). Данное шасси может использоваться при создании тяжелых мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов.

Проведенный анализ рынка современных колесных шасси показал, что наличие возможности отбора большой мощности является важным не только с технической точки зрения, но и позволяет получить конкурентное преимущество.

## Список литературы

1. Пат. 2337023 Рос. Федерация: МПК7 В61В 7/00. Мобильная подвесная канатная дорога / Короткий А.А., Хальфин М.Н., Маслов В.Б. и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Инженерно-консультационный центр «Мысль» НГТУ. № 2007102705/11; заявл. 24.01.2007; опубл. 27.10.2008, Бюл. 30.
2. Пат. 2465423 Рос. Федерация: МПК7 E04H 3/14. Стадион / Короткий А.А., Приходько В.М. Кустарев Г.В. и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Инженерно-консультационный центр «Мысль» НГТУ. № 2011112660/03; заявл. 01.04.2011; опубл. 27.10.2012, Бюл. 30.
3. Лагереv А.В., Таричко В.И., Солдатченков С.П. Обеспечение общей устойчивости базовых колесных станций мобильных канатных дорог // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №2. С. 210-220. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2019-05-02-210-220>.
4. Лагереv И.А., Таричко В.И., Солдатченков С.П., Игнатов Д.А. Создание экспериментального макета мобильной канатной дороги с использованием 3D-печати // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №2. С. 221-230. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2019-05-02-221-230>.
5. Лагереv А.В., Лагереv И.А. Оптимальное проектирование линий канатного метро в условиях сильно урбанизированной городской среды // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2015. Т.1. № 1. С. 57-65.
6. Лагереv А.В., Лагереv И.А., Короткий А.А., Панфилов А.В. Концепция инновационной системы городского транспорта «Канатное метро города Брянска» // Вестник Брянского государственного технического университета. 2012. №3. С. 12-15. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302025>
7. Лагереv А.В., Лагереv И.А. Оптимизация шага установки промежуточных опорных конструкций вдоль линии канатного метро // Вестник Брянского государственного университета. 2014. № 4. С. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302237>

## References

1. Patent RU 2337023, B61B 7/00. *Mobilnaya podvesnaya kanatnaya doroga* [Mobile ropeway]. Korotkiy A.A., Khalphin M.N., Maslov V.B. Published 27.10.2008. (In Russian)
2. Patent RU 2465423, E04H 3/14. *Stadion* [Stadium]. Korotkiy A.A., Prihodko V.M., Kustarev G.V. Published 27.10.2012. (In Russian)
3. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Soldatchenkov S.P. General stability of a base vehicle of a mobile ropeway. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.2, pp. 210-220. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-02-210-220 (In Russian)
4. Lagerev I.A., Tarichko V.I., Soldatchenkov S.P., Ignatov D.A. The experimental model creation of a mobile ropeway by 3D-printing. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.2, pp. 221-230. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-02-221-230 (In Russian)
5. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Optimal design of cable subway lines in a highly urbanized city environment. *Izvestiya MGTU "MAMI"*, 2015, Vol.1, No.1, pp. 57-65. (In Russian)
6. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Korotkiy A.A., Panfilov A.V. Innovation transport system "Bryansk rope metro". *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, No. 3, pp. 12-15. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302025>
7. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Cable transport system "Kanatnoe metro" towers distance optimization. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, No.4, pp. 22-30.
8. Korotkiy A.A., Lagerev A.V., Meskhi B.Ch., Lagerev I.A., Panfilov A.V. *Razvitie transportnoy infrastruktury krupnykh gorodov i territoriy na osnove tekhnologii kanatnogo metro* [The development of transport infrastructure of large cities and territories on the basis of technology of passenger ropeways]. Rostov-na-Donu, DGTU, 2017. 344 p. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1311913> (In Russian)
9. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Modeling operation modes of hydraulic



дования на базовом шасси мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №3. С. 388-403. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-388-403

15. Пат. 2738871 Рос. Федерация: МПК<sup>7</sup> В60К 17/34. Трансмиссия пожарно-спасательного автомобиля / Таричко В.И., Левковец Н.Р., Киселев О.В., Полехин Д.Э.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Брянский автомобильный завод» (АО "БАЗ"). № 2020117459; заявл. 27.05.2020; опубл. 17.12.2020, Бюл. № 35.

16. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля СПб.: БВХ-Петербург, 2006. 478 с.

17. Таричко В.И., Лагереv И.А. Расчетно-экспериментальные исследования динамики механической трансмиссии базовой станции мобильной канатной дороги // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №2. С. 318-326. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-318-326

18. Имангулов А.Р., Филькин Н.М. Об упрощении динамической модели трансмиссии гибридного легкового автомобиля // Интеллектуальные системы в производстве. 2013. №2. С. 55-57.

19. Лелиовский К.Я., Макаров В.С. Исследование вибраций трансмиссии при движении автомобиля по дорогам различного микропрофиля // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева. 2013. № 4. С. 98-103.

20. Шадрин С.С. Иванов А.М. Идентификация параметров сопротивления движению колесных транспортных средств в эксплуатации // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. Т.1. №2. С. 248-251.

21. Лагереv А.В., Лагереv И.А. Оптимальное проектирование линии канатного метро // Вестник Брянского государственного университета. 2015. №2. С. 406-415. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302241>

p. (In Russian)

17. Tarichko V.I., Lagerev I.A. Dynamics simulation and experimental analysis of a mobile cable car base station's mechanical transmissions. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.2, pp. 318-326. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-318-326 (In Russian)

18. Imangulov A.R. About simplification of dynamic model of transmission of the hybrid car. *Intellectualnye sistemy v proizvodstve*, 2013, No.2, pp. 55-57. (In Russian)

19. Leliovskiy K.Ya. Study of transmission vibrations when driving a car on the roads of various microprofiles. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva*, 2013, No.4, pp. 98-103. (In Russian)

20. Shadrin S.S., Ivanov A.M. Identification of parameters of the resistance movement of wheeled vehicles during operation. *Izvestiya MGTU "MAMI"*, 2013, Vol.1, No.2, pp. 248-251. (In Russian)

21. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Optimal design of the cable car line. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No. 2, pp. 406-415. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302241> (In Russian)