

УДК 629.373.3

EDN: ONCJQM

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРЕТЬЕЙ ОСИ ГИБРИДНОГО МОТОВЕЗДЕХОДА

**М.М. Журкин**ORCID: **0009-0006-6254-8954** e-mail: **mimizhur@gmail.com**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
*Москва, Россия***А.Ю. Захаров**ORCID: **0009-0003-1255-6575** e-mail: **zakharov-al@mail.ru**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
*Москва, Россия***Т.В. Голубчик**ORCID: **0000-0001-6908-9427** e-mail: **tvgolubchik@mail.ru**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
*Москва, Россия*

Представлены результаты разработки прототипа гибридного трехосного мотовездехода на базе серийного образца, осуществлен выбор и обоснование конструктивных и технических решений по реализации гибридного привода мотовездехода за счет добавления модульной конструкции третьей оси с грузовой платформой. Обоснованы преимущества выбранной схемы привода, связанные с улучшением проходимости, удобством эксплуатации и управления. Приведены математические уравнения схем трансмиссии для моделирования, алгоритмы управления и результаты исследования влияния гибридной схемы на энергоэффективность мотовездехода. Отражены результаты практической реализации конструктивного исполнения мотовездехода с колесной формулой бхб и модулем электропривода, обеспечивающего повышение проходимости, грузоподъемности и увеличенный запас хода.

**Ключевые слова:** гибридный мотовездеход, электропривод третьей оси, модульная ось, гибридный привод, энергоэффективность.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Журкин, М.М. Результаты практической реализации модульной конструкции электропривода третьей оси гибридного мотовездехода / М.М. Журкин, А.Ю. Захаров, Т.В. Голубчик // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2024. № 1. С. 98-106. EDN: ONCJQM

## RESULTS OF PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THIRD AXLE ELECTRIC DRIVE WITH MODULAR DESIGN FOR HYBRID ALL-TERRAIN VEHICLE

**M.M. Zhurkin**ORCID: **0009-0006-6254-8954** e-mail: **mimizhur@gmail.com**Bauman Moscow State Technical University  
*Moscow, Russia***A.Yu. Zakharov**ORCID: **0009-0003-1255-6575** e-mail: **zakharov-al@mail.ru**Bauman Moscow State Technical University  
*Moscow, Russia*

**T.V. Golubchik**

ORCID: 0000-0001-6908-9427 e-mail: [tvgolubchik@mail.ru](mailto:tvgolubchik@mail.ru)

Bauman Moscow State Technical University

Moscow, Russia

**Abstract.** The paper presents the results of the development of a prototype of a hybrid three-axle all-terrain vehicle based on a serial one. The selection and justification of design and technical solutions for the implementation of a hybrid drive of an all-terrain vehicle due to adding a third axle of a modular design with a loading platform was carried out. The advantages of the selected drive scheme related to improved cross-country ability, ease of operation and control are substantiated. The mathematical equations of transmission diagram for modeling, control algorithms and the results of a study of the influence of a hybrid diagram on the energy efficiency of an all-terrain vehicle are presented. The results of the practical implementation of the design of a 6x6 all-terrain vehicle and an electric drive module, which provides increased cross-country ability, load capacity and an increased range are reflected.

**Key words:** hybrid ATV, third axle electric drive, axle module, hybrid drive, efficient energy use.

**FOR CITATION:** M.M. Zhurkin, A.Yu. Zakharov, T.V. Golubchik. Results of practical implementation of third axle electric drive with modular design for hybrid all-terrain vehicle. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2024. № 1. Pp. 98-106. EDN: ONCJQM

## Введение

Мотовездеходы нашли широкое применение как доступное транспортное средство, способное выполнять задачи по транспортировке людей и грузов в условиях бездорожья. Они широко используются в лесном и сельском хозяйстве, а также в сфере туризма, спорта, охоты, рыбалки и т.д. Исследователи отмечают дальнейшее развитие электрических мотовездеходов, а прогнозируемый рост их рынка оценивается в 8 % в год<sup>1</sup>.

Классический мотовездеход представляет собой двухосную машину с одним или двумя сиденьями и небольшой площадкой под багажник. Для значительного увеличения грузоподъемности классических мотовездеходов производителями была добавлена возможность жесткого крепления третьей оси и установки грузовой платформы (рис. 1).



Рис. 1 Демонтируемый модуль грузовой платформы

Fig. 1. Removable cargo platform module

Как правило, такая ось является ведомой и не содержит тормозных механизмов, применение подобной грузовой платформы сопровождается ухудшением тормозных и разгонных свойств. Кроме того, установка грузовой платформы над третьей осью приводит к перераспре-

<sup>1</sup> All-Terrain Vehicle (ATV) Market Size <https://www.gminsights.com/industry-analysis/all-terrain-vehicle-atv-market>

делению нагрузок между осями, что отрицательно сказывается на управляемости машины. Добавление третьей неповоротной оси также приводит к увеличению момента сопротивления повороту и соответственно ухудшению маневренности.

Обзор моделей ведущих производителей мотовездеходов, с мотоциклетной посадкой и мотоциклетным рулевым управлением *All-Terrain Vehicle (ATV)* показал, что в настоящий момент серийно выпускаются и продаются трехосные мотовездеходы с колесной формулой 6x6 фирмами *Can-Am (BRP)* [<https://www.brp-world.com/int/en/brands/can-am-off-road/models-2022/outlander.html>] и *Polaris* [<https://www.polaris.com/>] (табл. 1).

Таблица 1.

## Технические характеристики мотовездеходов с колесной формулой 6x6

Table 1.

## Technical characteristics of 6x6 all-terrain vehicles

	<b>OUTLANDER</b> <b>OUTLANDER MAX 6X6 XU+ 450 T</b>	<b>SPORTSMAN</b> <b>BIG BOSS 6X6 800 EFI</b>
Двигатель		
Тип	V-образный, жидкостного охлаждения	4-тактный, двухцилиндровый, жидкостного охлаждения
Объем, см <sup>3</sup>	976	760
Трансмиссия	Вариатор, P / R / N / H / Extra Low L (с увеличенным передаточным отношением), система торможения двигателем. Режимы езды 4WD или 6WD с самоблокирующимся передним дифференциалом <i>Visco-Lok QE</i>	Вариатор P/R/N/L/H. Система Автоматического полного привода AWD на 6 колес
Мощность, л.с.	38	64
Шасси		
Тип передней подвески/ход, мм	Двойные изогнутые А-образные рычаги / 229	Стойки MacPherson / 240
Тип задней подвески/ход, мм	Независимая задняя подвеска с двойными продольными рычагами с быстросъемным стабилизатором поперечной устойчивости / 251	Двойные А-образные рычаги на 4 колеса / 160 - 240
Передний тормозной механизм	Два тормозных диска (214 мм) с двухпоршневыми гидравлическими тормозными механизмами	Дисковые гидравлические на 4 колеса
Задний тормозной механизм	Два тормозных диска (214 мм) с двухпоршневыми гидравлическими тормозными механизмами	Дисковые гидравлические на 4 колеса
Передние колеса, дюймы	26" x 8" x 12"	25" x 8" - 12"
Габаритные размеры		
Д x Ш x В, мм	2790 x 1188 x 1240	2850 x 1220 x 1220
Колесная база (мм)	2285	1290
Клиренс (мм)	279	270
Сухой вес (кг)	595	480
Грузоподъемность передней и задней багажных площадок (кг)		
передней:	45	45
задней:	318	360
Емкость топливного бака (л)	20,5	15,5
Рама	Пространственная	Пространственная

### Реализация электропривода третьей оси

Создание мотовездехода с электроприводом или гибридной силовой установкой требует создания специализированной несущей конструкции [1], серийный выпуск которой предполагает существенную технологическую проработку. Один из возможных способов модернизации классических мотовездеходов – применение третьей оси с электроприводом [2]. Такое решение добавляет новые функции в существующие конструкции и тем самым улучшает их. Данную схему можно считать промежуточным вариантом между классическими системами многоосного привода и системами индивидуального привода. Последние обладают многочисленными преимуществами [3], связанными с возможностью перераспределения крутящего момента. Однако использование «мотор-осей» более целесообразно для мотовездеходов [4] ввиду тяжелых условий эксплуатации. Подобные концепции уже существуют, их реализация испытывается на грузовых автомобилях. Пионерами в данной области являются фирмы *TRAILER DYNAMICS* и *KRONE*, представившие полуприцеп с электроприводом, увеличивающий пробег на одном баке и на 20 % уменьшающий выбросы CO<sub>2</sub>.

Мотовездеход редко движется в установившемся режиме, что делает применение гибридной схемы еще более актуальным. Мотовездеход с гибридным приводом может двигаться в следующих режимах:

- за счет двигателя внутреннего сгорания (ДВС), установленного на классическом мотовездеходе;
- только за счет электрического двигателя;
- используя оба двигателя одновременно.

Применение электропривода третьей оси расширяет следующие возможности классического мотовездехода.

1. *Увеличение дальности хода на одном баке.* Данное улучшение становится возможным по ряду причин: во-первых, аккумулятор можно заряжать от сети, что само по себе позволяет перевозить с собой большее количество запасенной энергии. Во-вторых, использование основного принципа гибридных автомобилей, задействование электродвигателя в зонах низкого КПД ДВС позволяет экономить топливо. В-третьих, существует возможность торможения электродвигателем и преобразование кинетической энергии в электрическую.

2. *Применение гибридной схемы трансмиссии* также позволяет использовать мотовездеход с заглушенным ДВС в помещениях и особых экологических зонах, или двигаться со звукомаскировкой.

3. *Применение ряда электронных помощников без внесений в штатную тормозную систему.* Данные системы позволят предотвращать аварийные ситуации самостоятельно (без участия водителя). Они оценивают ситуацию и при необходимости вмешиваются в процесс управления мотовездеходом [5]:

- *управление одним рычагом:* данная функция способна повысить комфорт водителя, уменьшить скорость износа тормозных механизмов и сделать торможение электродвигателем, управляемым для водителя;
- *противобуксовочная система:* данная функция позволит избежать буксования оси с электроприводом, а также, задействовать данную ось, когда возникает буксование осей с приводом от ДВС;
- *антиблокировочная система:* данная функция позволит эффективно использовать способность торможения с помощью электропривода и избежать возможного начала вращения колес в обратную сторону;
- *помощь при спуске с горы:* данная функция позволит автоматически поддерживать скорость на спуске;
- *помощь при старте в гору:* данная функция позволит предотвращать откатывание мотовездехода в случае нерасторопности водителя;

- *система активной стабилизации*: для уменьшения сноса передней оси, и как следствие, повышения поворотливости; алгоритм подразумевает увеличения тяги от ДВС и создания тормозного момента на ТЭД при больших углах поворота руля.

4. *Улучшение динамических характеристик мотовездехода* без необходимости увеличения размеров и объема ДВС, что позволит избежать необходимости использовать более производительной системы охлаждения, а также усилений в трансмиссии. Снизится расход топлива на механические потери в ДВС.

5. *Применение модульной системы* позволит при необходимости демонтировать третью ось или переставить ее на другой мотовездеход.

6. *Применение гибридной схемы* способно сделать эксплуатацию мотовездехода независимой от электросетей. И наоборот, при наличии электросетей, появляется возможность подзарядки, что делает стоимость владения мотовездеходом более низкой.

### Описание разработанной конструкции

Авторы статьи провели модернизацию мотовездехода РМ-650, разработав прицепную модульную конструкцию, состоящую из:

- силовой рамы с механизмом крепления к раме мотовездехода;
- двухрычажной подвески;
- упругодемпфирующих элементов;
- колесно-ступичных узлов;
- тяговой аккумуляторной батареи;
- тягового электродвигателя с редуктором и дифференциалом;
- инвертором системы управления;
- грузовой платформы.

Разработанный прототип представлен на рис. 2.



Рис. 2. Прототип гибридного мотовездехода с колесной формулой 6x6

Fig. 2. Prototype of a hybrid 6x6 all-terrain vehicle

При использовании ДВС крутящий момент передается на передний мост и/или средний мост посредством механической трансмиссии классического мотовездехода. В роли механизма сцепления и коробки передач используется клиноременной вариатор. Особенностью вариаторов в мотовездеходах является то, что передаточное число зависит не только от частоты вращения, но и от нагрузки [6]. Электрический мотор приводит во вращение колеса модуля третьей оси с помощью механического редуктора со свободным межколесным дифференциалом. В качестве накопителя энергии была выбрана LiFePO<sub>4</sub> батарея. Обладая хоть и большей массой, стоимостью и размером, в отличие от «суперконденсатора», такая батарея позволит

использовать электропривод не только в качестве износостойкой тормозной системы [7], но и для продолжительного движения без использования ДВС.

В составе разработанной модульной конструкции применен электропривод, параметры которого представлены в табл. 2.

**Таблица 2.**  
**Технические характеристики электрического привода гибридного мотовездехода**

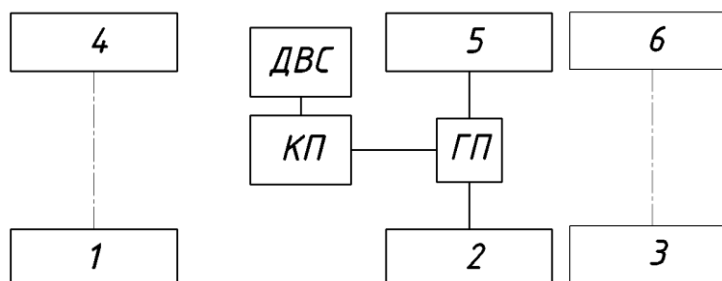
**Table 2.**  
**Technical characteristics of the electric drive of a hybrid all-terrain vehicle**

№ п/п	Параметр	Значение
1	Напряжение	144 В
2	Номинальная мощность	15 кВт
3	Максимальная мощность	30 кВт
4	Номинальные обороты	4500 об/мин
5	Максимальные обороты	8700 об/мин
6	Номинальный момент	32 Нм
7	Максимальный момент	95 Нм
8	Номинальный ток	130 А
9	Максимальный ток	380 А

На мотовездеход РМ-650 устанавливается бензиновый двигатель мощностью 31кВт, что в совокупности с электродвигателем позволяет достичь показателей по мощности на уровне с представленными выше аналогами.

В разработанном прототипе доступны несколько конфигураций трансмиссии.

В первой схеме трансмиссии (рис. 3) крутящий момент подводится от ДВС к среднему мосту мотовездехода. Поскольку на средней оси отсутствует дифференциал (главная передача обозначена квадратом), между колесами ости есть заблокированная связь.



**Рис. 3. Схема трансмиссии мотовездехода (вариант 1)**

**Fig. 3. All-terrain vehicle transmission diagram (version 1)**

Уравнения первой схемы трансмиссии имеют вид:

$$\begin{aligned}
 J_K \dot{\omega}_{K1} &= -M_1 \\
 J_K \dot{\omega}_{K4} &= -M_4 \\
 \dot{\omega}_{K2} i_{KП} i_{ГП} &= \dot{\omega}_{ДВ} \\
 \dot{\omega}_{K5} i_{KП} i_{ГП} &= \dot{\omega}_{ДВ} \\
 2J_K \dot{\omega}_{K2} &= M_{ДВ} i_{KП} i_{ГП} - M_2 - M_5 \\
 J_K \dot{\omega}_{K3} &= -M_3 \\
 J_K \dot{\omega}_{K6} &= -M_6
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $M_i$ ,  $i=1\dots6$  – момент сопротивления на соответствующем колесе,  $J_K$  – момент инерции колеса,  $i_{KП}$  – передаточное число в коробке передач,  $i_{ГП}$  – передаточное число главной передачи,  $M_{ДВ}$  – подводимый к трансмиссии момент от двигателя внутреннего сгорания,  $\dot{\omega}_i$ ,  $i=1\dots6$  – угловое ускорение соответствующего колеса.

Вторая схема трансмиссии (рис. 4) позволяет подключить передний мост. Межосевой дифференциал отсутствует, но у передней оси имеет место межколесный дифференциал (главная передача обозначена кругом) с возможностью блокировки.

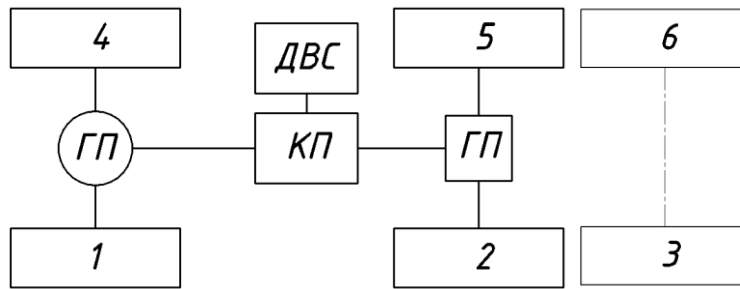


Рис. 4. Схема трансмиссии мотовездехода (вариант 2)

Fig. 4. All-terrain vehicle transmission diagram (version 2)

Уравнения второй схемы трансмиссии будут иметь вид:

$$\begin{aligned}
 J_K \dot{\omega}_{K1} - \frac{M_{14}}{2} i_{ГП} &= -M_1 \\
 J_K \dot{\omega}_{K4} - \frac{M_{14}}{2} i_{ГП} &= -M_4 \\
 \dot{\omega}_{K1} + \dot{\omega}_{K4} &= 2 \dot{\omega}_{K2} \\
 \dot{\omega}_{K1} + \dot{\omega}_{K4} &= 2 \dot{\omega}_{K5} \\
 \frac{M_{14}}{i_{KП}} + \frac{M_{25}}{i_{KП}} &= M_{ДВ} \\
 \dot{\omega}_{ДВ} &= \frac{\dot{\omega}_{K1} + \dot{\omega}_{K4}}{2} i_{ГП} i_{KП} \\
 M_{25} i_{ГП} - M_2 - M_5 - 2J_K \dot{\omega}_{K2} &= 0 \\
 J_K \dot{\omega}_{K3} &= -M_3
 \end{aligned}$$

$$J_K \dot{\omega}_{K6} = -M_6$$

Заблокировав межколесный дифференциал первой оси, можно получить третью схему (рис. 5).

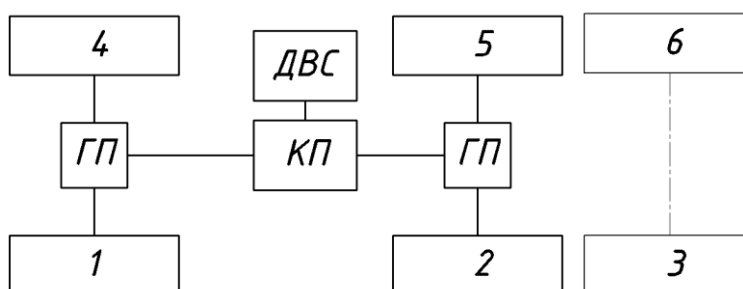


Рис. 5. Схема трансмиссии мотовездехода (вариант 3)

Fig. 5. All-terrain vehicle transmission diagram (version 3)

Уравнения третьей схемы трансмиссии:

$$\dot{\omega}_{K1} = \dot{\omega}_{K2} = \dot{\omega}_{K4} = \dot{\omega}_{K5} = \frac{\dot{\omega}_{ДВ}}{i_{ГП}i_{КП}}$$

$$4J_K \dot{\omega}_{K1} = M_{ДВ}i_{ГП}i_{КП} - M_1 - M_2 - M_4 - M_5 \quad (3)$$

$$J_K \dot{\omega}_{K3} = -M_3$$

$$J_K \dot{\omega}_{K6} = -M_6$$

Третья ось содержит электропривод и оснащена межколесным дифференциалом. При задействовании электропривода последние два уравнения претерпят следующие изменения:

$$J_K \dot{\omega}_{K3} = \frac{M_{ЭДВ}i_{ГП2}}{2} - M_3$$

$$J_K \dot{\omega}_{K6} = \frac{M_{ЭДВ}i_{ГП2}}{2} - M_6 \quad (4)$$

где  $M_{ЭДВ}$  – подводимый к трансмиссии третьей оси момент от электродвигателя,  $i_{ГП2}$  – передаточное число главной передачи третьей оси.

Представленные уравнения можно использовать при имитационном моделировании движения мотовездехода.

### Выводы

Модернизация классического двухосного мотовездехода путем жесткого крепления рамы с дополнительной третьей осью, помимо добавления грузоподъемности, создает возможности для повышения энергоэффективности, улучшения проходимости, удобства эксплуатации и управления. Достичь указанных эксплуатационных преимуществ возможно путем дооснащения базового мотовездехода третьей осью с электроприводом. Представленный прототип модернизации отечественного мотовездехода с помощью модульной конструкции третьей оси с грузовой платформой и электроприводом подтверждает эти возможности.

В настоящее время продолжается доработка алгоритмов управления тяговым электроприводом в составе гибридного мотовездехода с целью дальнейших исследований эксплуатационных качеств и численного анализа влияния применения гибридной схемы трансмиссии на расход топлива.



**Библиографический список**

1. **Вдовин, Д.С.** Рама мотовездехода: патент на полезную модель № 198948 U1 Российская Федерация, МПК В62D 21/00. № 2019145139: заявл. 30.12.2019; опубл. 04.08.2020 / Д.С. Вдовин, Я.Ю. Левенков, А.С. Дьяков [и др.]. EDN CDCRIM.
2. **Котиев, Г.О.** Транспортное средство: патент на полезную модель № 218304 U1 Российская Федерация, МПК В62D 53/00, В62D 59/04. № 2022135456: заявл. 30.12.2022; опубл. 22.05.2023 / Г.О. Котиев, А.Ю. Захаров, Т.В. Голубчик. EDN PZZXHL
3. **Sun, Y.** Analysis of wheel hub motor drive application in electric vehicles / Y. Sun, M. Li, C. Liao, // MATEC Web of Conferences 100, 01004 (2017). DOI: 10.1051/mateconf/201710001004
4. **Evseev, K.** Analysis and design solutions for a 4x4 ATV with an electromechanical transmission / K. Evseev, A. Dyakov, V. Pushtakov // MATEC Web of Conferences 329, 01022 (2020). DOI: 10.1051/mateconf/202032901022
5. **Бутылин, В.Г.** Активная безопасность автомобиля. Основы теории / В.Г. Бутылин, М.С. Высоцкий, В.Г. Иванов В.Г. и др. – Мн.: НИРУП «Белавтотракторостроенис», 2002. – 184 с.
6. **Lyashenko, M.** Analysis of ATV transmission operation according to the results of tests on a dynamometer test bench / M. Lyashenko, P. Potapov, A. Dolotov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: Design Technologies for Wheeled and Tracked Vehicles, MMBC 2019, Moscow, 1-2 октября 2019 г. Vol. 820. – М.: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012018. DOI 10.1088/1757-899X/820/1/012018. EDN INDBWP
7. **Котиев, Г.О.** Выбор емкости бортового накопителя энергии при использовании электромашин в износостойкой тормозной системе высокоподвижных колесных машин / Г.О. Котиев, И.Ф. Гумеров, А.А. Стадухин, Б.Б. Косицын // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2020. № 2 (129). С. 126-133. DOI 10.46960/1816-210X\_2020\_2\_126. EDN PRLIEF

*Дата поступления  
в редакцию: 10.11.2023*

*Дата принятия  
к публикации: 02.02.2024*