

УДК 62-235

UDC 62-235

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 - Technologies and means of mechanization of agriculture (technical sciences)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ОПОРНО-ХОДОВОГО МОДУЛЯ И АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ МОТОВЕЗДЕХОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

METHODS FOR DETERMINING THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE ELECTRIC MOTOR OF THE SUPPORT-RUNNING MODULE AND THE STORAGE BATTERY TO INCREASE THE MOBILITY OF ALL-TERRAIN VEHICLES

Чутков Константин Александрович
к.т.н., доцент
РИНЦ SPIN-код 7809-9660
kchutkov@yandex.ru

Chutkov Konstantin Alexandrovich
Cand.Tech.Sci., associate professor
RSCI SPIN-code: 7809-9660
kchutkov@yandex.ru

Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая ордена Жукова академия Вооруженных Сил Российской Федерации», 119992, г. Москва, пр. Девичьего Поля, д.4

Military educational and scientific center of the Ground Forces "Combined Arms Order of Zhukov Academy of the Armed Forces of the Russian Federation", 119992, Moscow, pr. Devichye Pole, 4

Рогачев Дмитрий Игоревич
магистр
РИНЦ SPIN-код: 9854-9138
rogachevdi@bmstu.ru

Rogachev Dmitry Igorevich
Master
RSCI SPIN-code: 9854-9138
rogachevdi@bmstu.ru

Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical University, Russia, 141005, Moscow region, Mytishchi., 1-ya Institutskaya, 1

Конторщикова Сергей Витальевич
аспирант
РИНЦ SPIN-код: 5989-6115
ksv14m273@student.bmstu.ru

Kontorshchikov Sergey Vitalievich
Graduate student
RSCI SPIN-code:
ksv14m273@student.bmstu.ru

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5

Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Russia, 105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya, 5

Рязанцев Евгений Николаевич
начальник курса
ryazantsev.e@yandex.ru

Ryazantsev Evgeny Nikolaevich
Head of the course
ryazantsev.e@yandex.ru

Московское высшее общевойсковое командное училище, 109380, г. Москва, улица Головачева, 2

Moscow Higher Combined Arms Command School, 109380, Moscow, Golovacheva, 2

Копытов Григорий Викторович
преподаватель
copgrigor@gmail.com

Kopytov Grigory Viktorovich
Teacher
copgrigor@gmail.com

Московское высшее общевойсковое командное училище, 109380, г. Москва, улица Головачева, 2

Moscow Higher Combined Arms Command School, 109380, Moscow, Golovacheva, 2

В статье представлены вариации компоновки электродвигателей полноприводного мотовездехода 4X4. В аналитической части рассмотрены недостатки и достоинства вариаций компоновки привода колесных движителей мотовездехода, а именно влияние компоновочного решения на: эффективность использования кузова мотовездехода, неподрессоренную массу, общую массу мотовездехода, стоимость изготовления и как следствие стоимость обслуживания в процессе

The article presents variations of the layout of electric motors of a 4X4 all-wheel drive ATV. In the analytical part, the disadvantages and advantages of variations in the layout of the all-terrain vehicle wheel drive are considered, namely, the influence of the layout solution on: the efficiency of using the all-terrain vehicle body, unsprung mass, the total mass of the all-terrain vehicle, the cost of manufacturing and, as a consequence, the cost of maintenance during operation. The calculation part presents a method for

эксплуатации. В расчетной части представлена методика определения технических характеристик тяговых электродвигателей в зависимости от вариации компоновочных решений и приведена методика определения емкости аккумуляторной батареи достаточной для обеспечения требуемого запаса хода

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, МОТОР-ОСЬ, МОТОР-КОЛЕСО, РАСЧЕТ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ, ЭЛЕКТРОПРИВОД

determining the technical characteristics of traction motors depending on the variation of layout solutions and provides a method for determining the capacity of the battery sufficient to provide the required power reserve

Keywords: ELECTRIC MOTOR, MOTOR-AXLE, MOTOR-WHEEL, CALCULATION OF THE STORAGE BATTERY, ELECTRIC DRIVE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-175-013>

Введение. С развитием технологического прогресса стало возможным реализация более компактных и легких тяговых электродвигателей, что положительно сказывается на возможности применения их в качестве силового элемента привода мотовездеходной техники. В статье рассмотрена методика определения технических характеристик электродвигателя для различных вариаций компоновки.

Аналитическая часть. Рассмотрим варианты компоновки трансмиссии полноприводного четырех колесного мотовездехода на электротяге. Схема с четырьмя электромоторами, находящимися на борту мотовездехода (рис. 1). К преимуществам данной схемы следует отнести малую неподрессоренную массу. Данный критерий особо важен, когда речь идет об увеличении подвижности мотовездеходных транспортных средств, поскольку является одним из основных критериев, обеспечивающих плавность хода на дорогах с плохим покрытием и бездорожье.

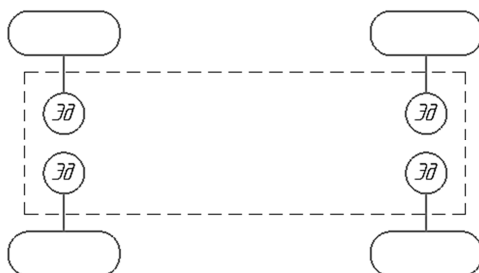


Рисунок 1 – Принципиальная схема с четырьмя электромоторами, находящимися на борту мотовездехода

Основными недостатками данной схемы являются компоновочные ограничения, уменьшение полезного пространства в кузове мотовездехода, сложность привода управляемых колес, большая общая масса и высокая стоимость изготовления.

Рассмотрим принципиальную схему с задними моторами на борту и передними мотор-колесами (рис. 2). Данная схема лишена недостатка сложности привода управляемых колес, однако увеличивается неподрессоренная масса на передней оси мотовездехода, также конструкция остается довольно сложной и дорогой для производства.

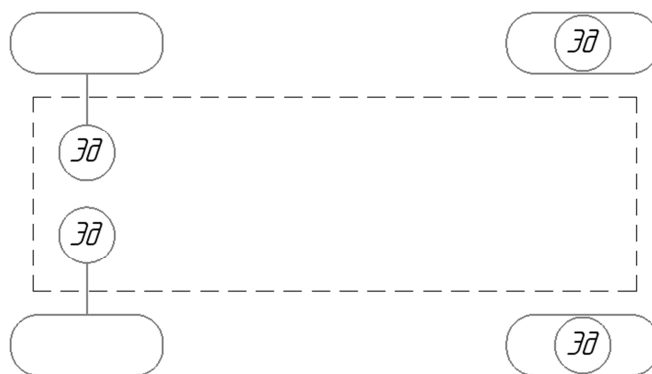


Рисунок 2 – Принципиальная схема с задними моторами на борту и передними мотор-колесами

Рассмотрим принципиальную схему в которой все движители представлены как мотор-колеса (рис. 3). Недостатком данной схемы является большая неподрессоренная масса, что, в зависимости от требуемой плавности хода и скорости движения, может оказаться главным ограничивающим применение этой схемы фактором.

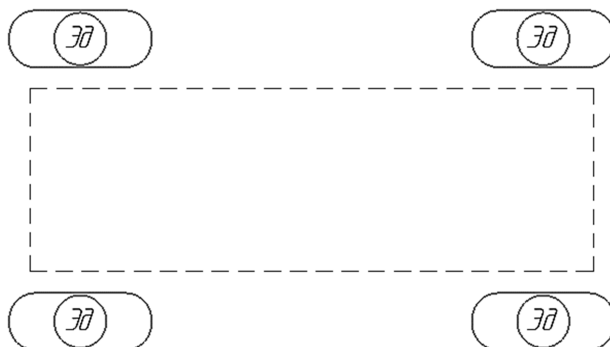


Рисунок 3 – Принципиальная схема со всеми мотор-колесами

К преимуществам данной схемы следует отнести максимальную унификацию компонентов, следовательно, относительную дешевизну конструкции. Планетарный колёсный редуктор позволяет значительно увеличить значение крутящего момента, подводимого к колесу автомобиля в условиях ограниченного компоновочного пространства. В составе конструкции мотор-колеса индивидуальный привод позволит максимально использовать сцепные свойства каждого колеса автомобиля в отдельный момент времени, эффективно управляя общим вектором тяги автомобиля.

Расчетная часть. Базовое уравнение для определения мощности необходимой для движения мотовездехода с определённой скоростью представлено ниже [1,2]:

$$N = G \cdot f \cdot \cos(a) \cdot V + C_x \cdot F \cdot \rho \cdot \frac{V^3}{2000} + G \cdot \sin(a) \cdot V, \text{ кВт}$$

где G – вес мотовездехода, кН; f – коэффициент сопротивления качению; a – угол наклона полотна; V – скорость мотовездехода, м/с; C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления; F – площадь поперечного сечения мотовездехода, м²; ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Методика расчета для варианта (рис.4) при котором вращение четырех движителей мотовездехода 4X4 обеспечивается одним электродвигателем.

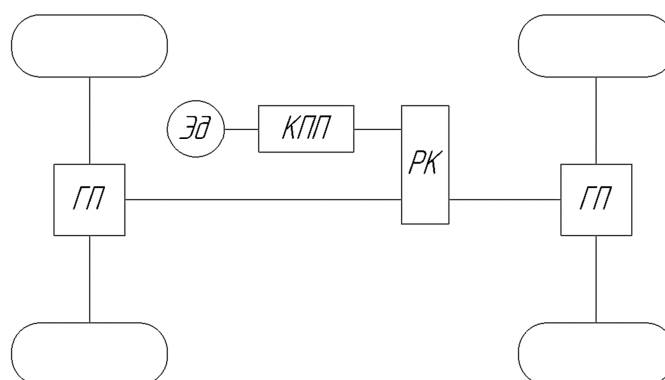


Рисунок 4 – Принципиальная схема привода с одним электродвигателем

Необходимая мощность электродвигателя для обеспечения движения со скоростью V можно представить как:

$$N_{эд} = \frac{N}{\eta_{тр}}, \text{ кВт},$$

где $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии.

КПД трансмиссии можно представить как произведение КПД всех элементов трансмиссии: $\eta_{тр} = \eta_{кпп} \cdot \eta_{рк} \cdot \eta_{гп}$, где $\eta_{кп}$ – КПД коробки переключения передач; $\eta_{рк}$ – КПД раздаточной коробки; $\eta_{гп}$ – КПД главной передачи.

Частоту вращения вала электродвигателя при скорости V можно представить как:

$$n_{эд} = \frac{30 \cdot V \cdot u_{тр}}{\pi \cdot r_d}, \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

где r_d – динамический радиус колеса, м; $u_{тр}$ – передаточное число трансмиссии.

Передаточное число трансмиссии можно представить как произведение передаточных чисел всех элементов трансмиссии: $u_{тр} = u_{кпп} \cdot u_{рк} \cdot u_{гп}$, где $u_{кп}$ – КПД коробки передач; $u_{рк}$ – КПД раздаточной коробки; $u_{гп}$ – КПД главной передачи.

Момент на электродвигатели:

$$M_{эд} = \frac{30 \cdot N_{эд}}{\pi \cdot n_{эд}}, \text{ кН} \cdot \text{ м}.$$

Методика расчета для варианта мотор-ось (рис.5) при котором вращение движителей мотовездехода 4X4 обеспечивается двумя электродвигателями

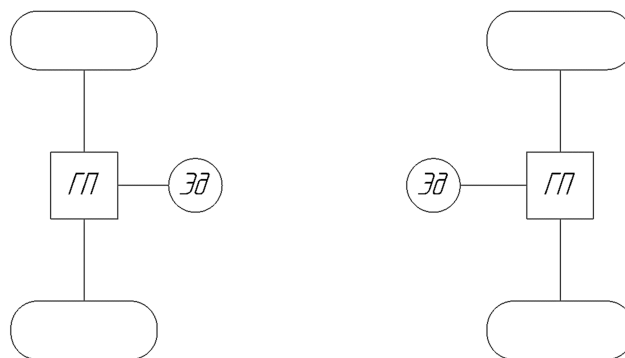


Рисунок 5 – Принципиальная схема привода мотор-ось

Для расчета необходимой мощности электродвигателя по схеме мотор-ось введем переменную $k_{эд}$, которая будет характеризовать количество применяемых электродвигателей:

$$N_{эд} = \frac{N}{\eta_{тр} \cdot k_{эд}}, \text{ кВт},$$

В зависимости от эксплуатационных требований предъявляемых к мотовездеходу возможно сокращение количества элементов трансмиссии вследствие этого увеличиться КПД. Для схемы представленной на рисунке 2 КПД трансмиссии можно представить как: $\eta_{тр} = \eta_{гп}$, а передаточное число трансмиссии как: $u_{тр} = u_{гп}$.

Формулы для определения частоты вращения и мощности электродвигателя останутся без изменений.

Методика расчета для варианта мотор-колесо (рис.6) при котором вращение движителей мотовездехода 4X4 обеспечивается четырьмя электродвигателями

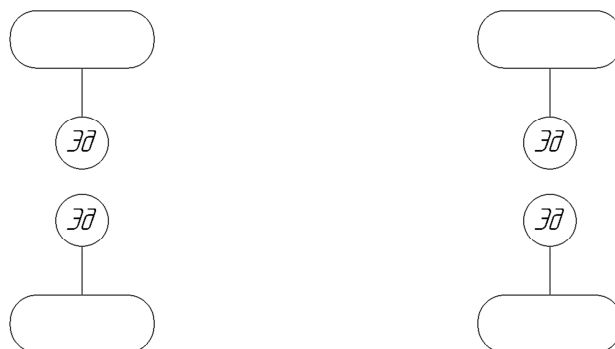


Рисунок 6 – Принципиальная схема привода мотор-колесо

Формула для расчета необходимой мощности электродвигателя по схеме мотор-колесо:

$$N_{\text{эд}} = \frac{N}{\eta_{\text{тр}} \cdot k_{\text{эд}}}, \text{ кВт},$$

Одним из преимуществ реализации привода мотор-колесо является возможность реализовать дифференциальный привод движителей мотовездехода, благодаря этому пропадает необходимость применения главной передачи, вследствие этого КПД трансмиссии можно не учитывать. Но в зависимости от эксплуатационных требований к мотовездеходу или иных конструктивных особенностей возможно появление необходимости реализации бортового редуктора вследствие этого необходимо учитывать КПД зубчатой передачи.

Формулы для определения частоты вращения и мощности электродвигателя останутся без изменений.

Одним из основополагающих критериев выбора емкости батареи это возможность обеспечения требуемого времени автономной работы мотовездехода. В зависимости от совокупности факторов предъявленных к мотовездеходу возможны разные интерпретации в выборе методики определения времени автономной работы. На этапе эскизного проекта возможно обойтись наиболее простой интерпретацией времени автономной работы, а именно соотношением максимального расстояния на одном заряде к средней скорости мотовездехода:

$$t = \frac{S_{\text{max}}}{V_{\text{ср}}}, \text{ с},$$

где S_{max} – максимальное расстояние, м; $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость мотовездехода, м/с.

Формула для определения мощности аккумуляторной батареи:

$$P_{\text{бат}} = \frac{N_{\text{эд}}}{\eta_{\text{эд}} \cdot \eta_{\text{инв}}}, \text{ кВт},$$

где $\eta_{эд}$ – КПД электродвигателя; $\eta_{инв}$ – КПД инвертера.

Емкость батареи можно определить, как [3,4]:

$$C = \frac{P_{бат} \cdot t}{U} \cdot k_{бат}$$

где U – напряжение батареи, В; $k_{бат}$ – коэффициент запаса.

Заключение. В статье представлена методика расчета трех вариантов реализации электропривода мотовездеходной техники на основе которой возможно реализовать различные вариации эскизных проектов колесной мотовездеходной техники. На основе КПД наиболее эффективной можно назвать вариацию мотор-колесо, так как при этом варианте меньшее количество элементов трансмиссии, но этот вариант наиболее требовательный к электродвигателям и влечет за собой увеличение неподрессоренной массы, в случае размещения электродвигателей не на раме мотовездехода.

Литература

1. Проектирование полноприводных колесных машин. Том 1 / Б. А. Афанасьев, Г. И. Гладов, Л. Ф. Жеглов [и др.]. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2008. – 496 с. – ISBN 978-5-7038-3041-3.
2. Приводы машин: Справочник/В. В. Длоугий, Т. И. Муха, А. П. Цупиков, Б. В. Януш; Под общ. ред. В. В. Длоугого. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.:Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. — 383 с, ил.
3. Рогачев, Д. И. Расчет мощности электродвигателя для синергетического привода харвестера / Д. И. Рогачев, А. Ф. Алябьев // Транспортные системы. – 2020. – № 3(17). – С. 15-19. – DOI 10.46960/62045_2020_3_15.
4. Веревкин, В. В. Расчет величины напряжения и емкости аккумуляторной батареи для комбинированной энергоустановки / В. В. Веревкин, В. В. Миханюшин // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2009. – № 21. – С. 195-201.

References

1. Proektirovanie polnoprivodnyh kolesnyh mashin. Tom 1 / B. A. Afanas'ev, G. I. Gladov, L. F. Zheglov [i dr.]. – Moskva : Moskovskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet im. N. Je. Baumana, 2008. – 496 s. – ISBN 978-5-7038-3041-3.
2. Privody mashin: Spravochnik/V. V. Dlougij, T. I. Muha, A. P. Cupikov, B. V. Janush; Pod obshh. red. V. V. Dloougogo. — 2-e izd., pererab. i dop. — L.:Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1982. — 383 s, il.

3. Rogachev, D. I. Raschet moshhnosti jelektrovdigatelja dlja sinergeticheskogo privoda harvestera / D. I. Rogachev, A. F. Aljab'ev // Transportnye sistemy. – 2020. – № 3(17). – S. 15-19. – DOI 10.46960/62045_2020_3_15.

4. Verevkin, V. V. Raschet velichiny naprjazhenija i emkosti akumuljatornoj batarei dlja kombinirovannoj jenergoustanovki / V. V. Verevkin, V. V. Mihanoshin // Nauchnye trudy Dal'rybvтуza. – 2009. – № 21. – S. 195-201.