

УДК 629.36

Метод выбора рациональных параметров трехпоточного механизма передачи и поворота гусеничной машины

Зыбин Павел Валерьевич

zybin@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Одним из способов повышения подвижности гусеничных машин (ГМ) является применение электромеханических трансмиссий, позволяющих обеспечить бесступенчатый разгон и поворот транспортного средства. При повороте необходимо обеспечить разницу частот вращения ведущих колес бортов ГМ, что-либо приводит к необходимости перевода электромашины в генераторный режим и, соответственно, к потерям энергии или перегрузке электромашины забегающего борта, либо требует применения схемы трансмиссии с отдельным приводом на прямолинейное движение и поворот, что приводит к невозможности использования мощности привода поворота при прямолинейном движении. Таким образом, для обеспечения максимальной эффективности использования установленных на борту гусеничной машины электромашин предлагается использовать трехпоточный механизм передачи и поворота. Предполагается, что эта особенность позволит использовать мощность всех электромашин в прямолинейном движении и исключить режимы работы трансмиссии, характеризующиеся торможением отстающего борта, путем перевода электромашины в генераторный режим при повороте, что обеспечит реализацию заданного уровня подвижности транспортного средства, при минимизации габаритных размеров и массы привода, а также потерь на двойное преобразование энергии.

Ключевые слова: гусеничная машина, механизм передачи и поворота, трехпоточная электромеханическая трансмиссия, установочная мощность, рациональные параметры, генетический алгоритм, тяговый расчет

Method for selecting rational parameters of a three-flow transmission and rotation mechanism of a tracked vehicle

Zybin Pavel Valerievich

zybin@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. One of the ways to increase the mobility of tracked vehicles (GM) is the use of electromechanical transmissions, which allow for stepless acceleration and rotation of the vehicle. When turning, it is necessary to ensure a difference in the rotational speeds of the driving wheels of the sides of the GM, which either leads to the need to switch the electric machines to generator mode and, accordingly, to energy losses or overload of the electric machine of the running board, or requires the use of a separate drive transmission scheme for rectilinear motion and rotation, which makes it impossible to use the drive power turning when driving in a straight line. Thus, to ensure maximum efficiency of using electric machines installed on board a tracked vehicle, it is proposed to use a three-thread trans-

mission and rotation mechanism. It is assumed that this feature will make it possible to use the power of all electric vehicles in straight-line motion and eliminate transmission operating modes characterized by braking of the lagging side by switching the electric vehicle to generator mode when turning, which will ensure the realization of a given level of mobility of the vehicle, while minimizing the overall dimensions and weight of the drive, as well as losses on double energy conversion.

Keywords: *tracked vehicle, transmission and turning mechanism, three-flow electromechanical transmission, installation power, rational parameters, genetic algorithm, traction calculation*

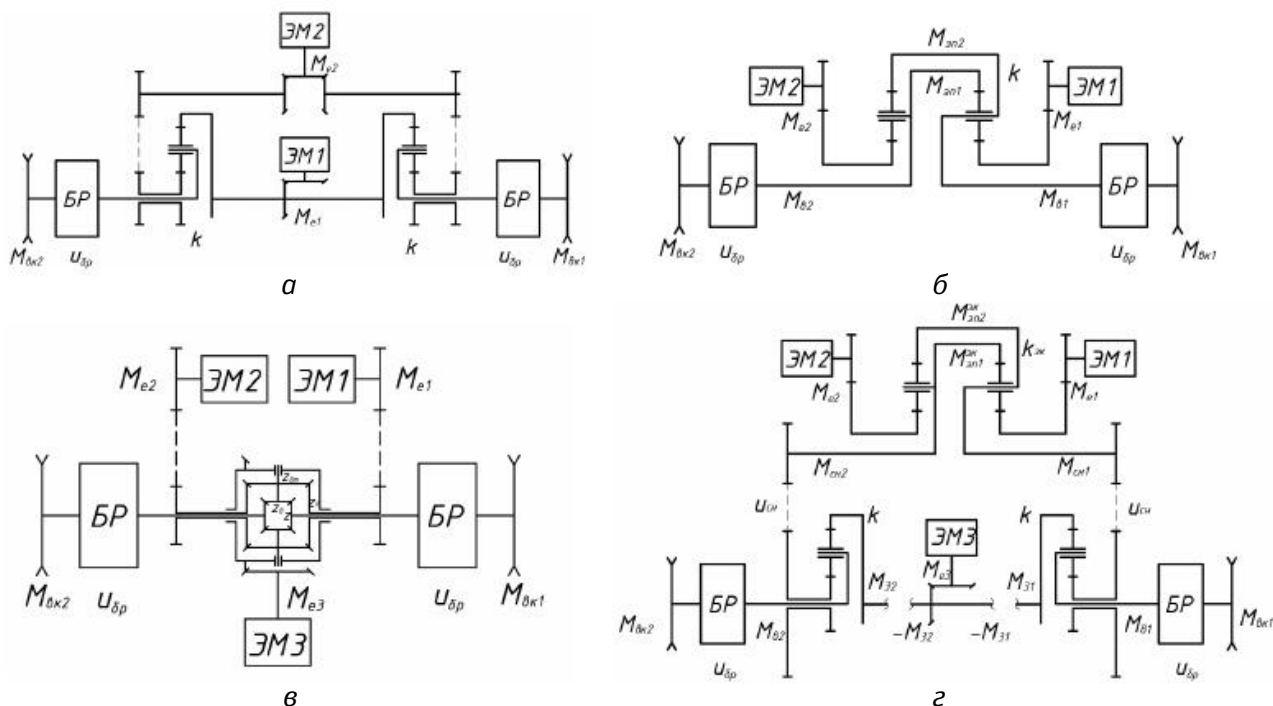
Особенностью трехпоточного механизма передачи и поворота (МПП) является применение трех электромашин, что приводит к широкой вариативности в определении параметров привода и требует формирования метода, позволяющего осуществить их рациональный выбор [1–3]. При этом необходимо отметить, что в представленной работе целевой функцией является именно минимизация габаритных размеров и массы привода ГМ, а закон управления движением транспортного средства, направленный на повышение энергоэффективности, не рассматривается.

Таким образом, целью исследования является: повышение подвижности гусеничных машин с трехпоточной электромеханической трансмиссией путем научно-обоснованного выбора ее рациональных параметров.

Для достижения поставленной цели, в рамках настоящего исследования разработан метод определения рациональных параметров трехпоточной электромеханической трансмиссии [4], базирующийся на классической теории движения гусеничных машин, а также на применении методов многопараметрической оптимизации. Предлагаемый подход основан на формировании режимов движения гусеничной машины, определяющих подвижность, а также на выборе рациональной схемы трансмиссии, обеспечивающей возможность реализации указанных режимов при минимальной установочной мощности используемых электромашин, т. е. при минимальных габаритных размерах и массе электропривода [5]. Как было указано выше, наличие трех потоков мощности (трех электромашин) приводит к широкой вариативности в определении параметров привода, для рационального выбора которых используется метод оптимизации — генетический алгоритм. Таким образом, разработанный подход, позволяет определить такие механические характеристики тяговых электромашин, как максимальный крутящий момент, максимальная частота вращения, максимальная мощность, а также конструктивный параметр суммирующих планетарных рядов рассматриваемой схемы трансмиссии, обеспечивающие минимальную суммарную установочную мощность электродвигателей (характеризующую габаритные размеры и массу привода), при реализации заданного уровня подвижности машины.

В результате апробации указанного метода для рассматриваемой в качестве объекта исследования машины, обладающей высокими требованиями к подвижности, выявлено: перспективными трехпоточными МПП являются: 3-х поточный МПП с двойным дифференциалом (рисунок, в) и 3-х поточный

МПП с механизмом Зайчика — Кристи (ЗК) (рисунок, *г*). Трехпоточный МПП с двойным дифференциалом (рисунок, *в*) обладает одной из наименьших суммарных мощностей электромашин.



Механизмы передачи и поворота ГМ:

а — 2-х поточный МПП с раздельным приводом на прямолинейное движение и поворот; *б* — 2-х поточный МПП с совместным приводом на прямолинейное движение и поворот (аналогично механизму ЗК); *в* — 3-х поточный МПП с двойным дифференциалом; *г* — 3-х поточный МПП с механизмом ЗК

Так, суммарная мощность электромашин, установленных на борту МПП (рисунок, *в*) по сравнению с двухпоточным МПП с раздельным приводом на прямолинейное движение и поворот (рисунок, *а*) и МПП с совместным приводом на прямолинейное движение и поворот (аналогично механизму ЗК) (рисунок, *б*) меньше на 6 и 44 % соответственно. Не смотря на меньшее значение суммарной мощности ЭМ МПП (рисунок, *в*) по сравнению с двухпоточными, указанная схема обеспечивает лучшую быстроходность за счет возможности использования всех ЭМ, установленных на борту в прямолинейном движении: для разгона до $0,9V_{max}$ меньше на 12 %.

При этом, трехпоточный МПП с ЗК (рисунок, *г*) при обеспечении установочной мощности равной установочной мощности двухпоточного МПП с раздельным приводом на прямолинейное движение и поворот (рисунок, *а*) позволяет уменьшить время разгона ГМ до $0,9V_{max}$ на 63 % за счет увеличения суммарной мощности ЭМ на 48 % и возможности использования всех ЭМ, установленных на борту, в прямолинейном движении.

Таким образом, на основании проведенного анализа можно заключить, что представленный в настоящем исследовании метод позволяет на ранней стадии проектирования провести сравнительную оценку различных схемных решений и выбрать рациональные параметры трехпоточных МПП с це-

лью минимизации габаритных размеров и массы привода при сохранении заданного уровня подвижности ГМ, определяемого расчетными режимами движения.

Список источников

- [1] Gao M.-F., Hu J.-B., Peng Z.-X. Study on optimization for transmission system of electric drive tracked vehicles. *The 8th International Conference on Applied Energy*, 2017, no. 105, pp. 2971–2976.
- [2] Gao M.-F., Hu J.-B., Peng Z.-X. Configuration synthesis of electric drive transmissions for tracked vehicles. *Advances in Mechanical Engineering*, 2017, vol. 10 (1), pp. 1–10. [https://doi.org/ 10.1177/1687814017749665C](https://doi.org/10.1177/1687814017749665C)
- [3] Milićević S.V., Blagojević I.A., Muždeka S.R. Advanced Rule-based Energy Management for Better Fuel Economy of Hybrid Electric Tracked Vehicle. *FME Transactions*, 2021, vol. 49, no. 3, pp. 711–718. [https://doi.org/ 10.5937/fme2103711m](https://doi.org/10.5937/fme2103711m)
- [4] Иванченко П.Н., Савельев Н.М., Шапиро Б.З., Вовк В.Г. *Электромеханические передачи. Теория и расчет*. Ленинград, Машгиз, 1962, 432 с.
- [5] Стадухин А.А. *Научные методы определения рациональных параметров электромеханических трансмиссий высокоподвижных гусеничных машин*. Дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2021, 317 с.