

УДК 629.11.01

Обобщенный анализ движения пневмоколеса в целях разработки способов его модернизации для повышения проходимости в условиях бездорожья

А. Кайнарбеков¹, А. Муратов²¹ Гуманитарный университет транспорта и права имени Д.А. Кунаева, 050022, Алматы, Казахстан, Курмангазы ул., 107.² Институт путей сообщения структурного подразделения Гуманитарного университета транспорта и права имени Д.А. Кунаева, 050022, Алматы, Казахстан, Курмангазы ул., 107.

Generalized analysis of motion of pneumatic wheels aimed at improving cross-country capabilities

A.K. Kaynarbekov, A.M. Muratov¹ University of Humanities and Law of Transport n.a. D.A. Kunaev, Kurmangazy str., 107, 050022, Almaty, Kazakhstan.² Institute of Transport and Communications, University of Humanities and Law of Transport n.a. D.A. Kunaev, Kurmangazy str., 107, 050022, Almaty, Kazakhstan.

e-mail: kainarbekov@mail.ru, kups1@mail.ru



Одним из перспективных направлений создания транспортных средств высокой проходимости является разработка новых конструкций шагающих механизмов. Использование шагающих движителей транспортных средств не только снижает затраты энергии на передвижение самой машины, но и может улучшить качество выполняемой работы. Рассмотрены вопросы комфортности передвижения движителей наземных транспортных средств. Для оценки комфортности передвижения использован коэффициент комфортности. Обобщен анализ движения пневматических колес с целью его модернизации для повышения проходимости наземных транспортных средств в условиях бездорожья. Анализ результатов исследования показал, что для комфортности передвижения на каждые колеса следует устанавливать синхронизаторы, которые пару колес и соединяющие их оси преобразуют в жесткую систему, аналогично колесным парам железнодорожных вагонов.

Ключевые слова: пневматические колеса, шагающие механизмы, комфортность передвижения, синхронизаторы.



One of the promising trends in automotive industry is creating vehicles with high cross-country capabilities using new walking mechanisms. The use of such mechanisms not only reduces the energy consumption but can also improve the quality of motion. In this paper, moving comfort of ground vehicles is considered. The coefficient of comfort is used to estimate the comfort in motion. Generalized analysis of motion of pneumatic wheels is performed to improve the cross-country capability of ground vehicles under off-road conditions. The results of analysis show that the comfort in motion can be provided by installing synchronizers on each wheel to form a rigid system including a pair of wheels and a rigid axle similarly to the wheel pairs of railway carriages.

Keywords: pneumatic wheels, walking mechanisms, comfort in motion, synchronizer.

В настоящее время очень актуальны проблемы повышения проходимости движителя наземных транспортных средств [1].

Цель работы — анализ движения пневмоколеса с целью разработки способов его модернизации путем повышения проходимости в условиях бездорожья.

Все виды опорно-двигательных аппаратов оцениваются по их способности сцепляться с опорным основанием. При движении пневмоколесо деформируется в опорной части и опирается на основание [2, 3]. Поэтому точка сцепления a располагается впереди вертикальной оси колеса и радиус ступицы ρ больше расчетного радиуса колеса r , т. е. $\rho > r$ (рис. 1, a).

Переменный радиус-вектор ρ с осью bx (линией поверхности дороги) образует угол сцепления α , а с вертикальной осью by — шаговой угол φ . Шаговой угол пневмоколеса очень мал, поэтому дефекты шагающей походки практически незаметны.

Движение центра ступицы пневмоколеса описывается по закону изменения длины гипотенузы ρ прямоугольного треугольника aOb [4, 5]:

$$\rho = r / \cos \varphi. \quad (1)$$

При вращении вектора ρ относительно мгновенного центра вращения a против хода часовой стрелки изменение его длины должно соответствовать условию

$$\rho \cos \varphi = r = \text{const}. \quad (2)$$

Только в этом случае ступица колеса O будет перемещаться по прямолинейной траектории, параллельной дуге.

Координаты центра ступицы определяются из двух условий:

$$y_\rho = \rho \cos \varphi = \frac{r}{\cos \varphi} \cos \varphi = r = \text{const};$$

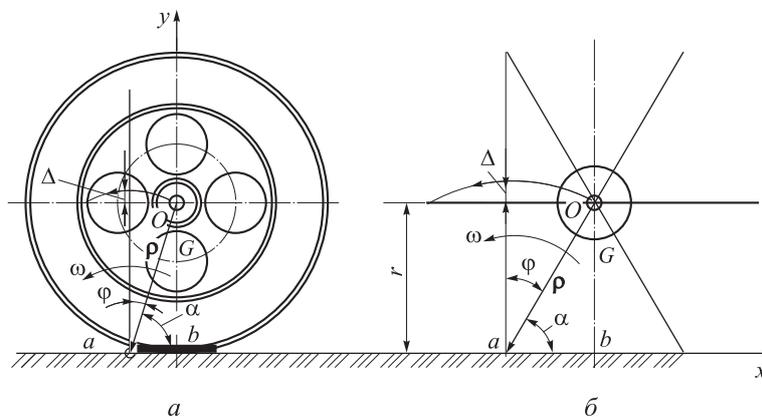


Рис. 1. Схема колес:
а — пневматического; б — шагающего

$$x_\rho = \rho \sin \varphi = \frac{r}{\cos \varphi} \sin \varphi = r \operatorname{tg} \varphi. \quad (3)$$

Комфортность передвижения на транспортных средствах оценивается коэффициентом комфортности

$$K = 1/w_\pi, \quad (4)$$

где w_π — число степени подвижности рамы транспортного средства относительно идеально гладкой и твердой опорной поверхности.

При отсутствии дефектов движения колеса число степени подвижности $w_\pi = 1$. Так как на раму кроме привода никаких возмущений не действует, то

$$K = 1/1 = 1,$$

т. е. комфортность передвижения достигает 100 %. Если, согласно (3), центр ступицы пневмоколеса перемещается прямолинейно, то перемещение его вдоль этой траектории не является линейной функцией:

$$x_\rho = r \operatorname{tg} \varphi,$$

следовательно, пневмоколесу присущ дефект походки. При передвижении по хорошему опорному основанию этот дефект не заметен. При малом угле φ поворота колеса x_ρ изменяется линейно. Далее примем комфортность передвижения на пневмоколесах по идеальному опорному основанию равной 100 % [5–7].

При езде по бездорожью пневмоколесо передвигается совершенно по другому — столкнувшись с выступами рельефа опорной поверхности, оно приобретает три степени подвижности: по продольной оси назад, движение вверх и вращение вокруг оси колеса. При этом коэффициент комфортности

$$K = 1/w_\pi = 1/3 \approx 0,33,$$

т. е. комфортность составляет 33 %. При такой езде не только водители испытывают неудобства, все узлы и агрегаты транспортного средства подвергаются интенсивному износу. Из сказанного

выше следует, что причиной этого является круглый обод колеса, т. е. обод соприкасается с препятствием раньше, чем точка сцепления.

Для исследования движения колеса снимем обод, оставив колесо на спицах (рис. 1, б). При этом исключаются столкновения с неровностями опорной поверхности. Многие неровности шагающее колесо «перешагивает». Однако само колесо при этом приобретает дефект движения (походки). Центр ступицы совершает колебательное движение с большой амплитудой Δ , поэтому колесо, сделав полшага, т. е. повернув центр ступицы до вертикальной оси, начнет падать. Следовательно схему, представленную на рис. 1, б, необходимо совершенствовать.

Известны два способа модернизации такого колеса. Первый способ заключается в уменьшении шагового угла φ , назначении величины шага и шагового режима движения a_1b_1 (рис. 2). При этом к спицам присоединяются дугообразные ступни и часть обода, которые на определенном участке держат ступицы, не позволяя им падать, что равносильно действию части обода колеса. В результате колесо движется в двух режимах, т. е. полшага в шаговом режиме, а полшага — в колесном режиме. Таким образом, полный шаг колеса

$$t = ab;$$

полшага шагового режима

$$t_1 = a_1b_1;$$

полшага колесного режима

$$t_2 = aa_1/2 + bb_1/2.$$

В результате переноса точки a в положение a_1 спица укорачивается на длину Oa_1 , угол α' увеличивается, а угол φ' соответственно уменьшается (см. рис. 2). При этом максимальное отклонение центра ступицы Δ от прямой t_0t_0 уменьшается до Δ' — почти в 4 раза.

Пунктирной линией на рис. 2 показана схема первичного шагающего колеса (см. рис. 1, б). Для устранения недостатков движения колеса спица Oa переносится по направлению движения через центр O ступицы в положение a_1l' и закрепляется к корпусу ступицы в точке l' . При этом опорная точка a_1 приближается к центру ступицы. Переменный вектор ρ образует с вертикальной осью новый угол φ' , а с горизонтальной осью — угол α' . При вращении вектора ρ против хода часовой стрелки до вертикального положения выполняется шаговый режим движения колеса. Максимальное отклонение центра O ступицы составляет Δ' .

Для примера построим шестую спицу. Для этого обозначим на корпусе ступицы точку b' . Из этой точки b' проводим дугу K длиной, рав-

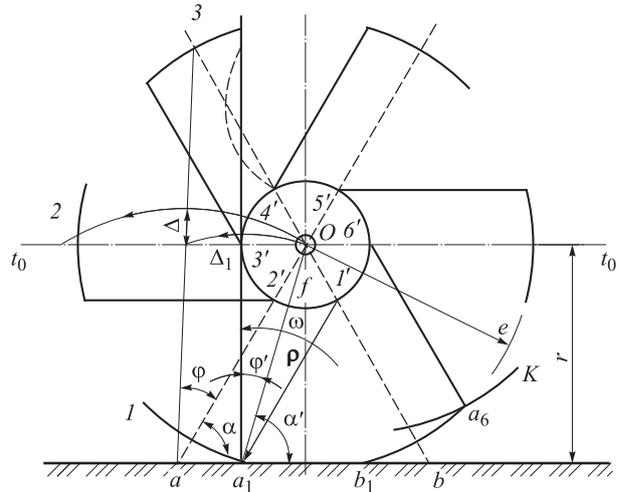


Рис. 2. Кинематическая схема шагающего колеса

ной длине первой спицы a_1l' , а через точку O — дугу e радиусом r . В пересечении этих дуг получаем точку a_6 . Таким образом находим положение шестой спицы a_6b' . В точке пересечения дуги e с опорной поверхностью определяется точка b_1 , являющаяся носком ступни $b'a_6b_1$. Длина ступни шестой спицы равна длине дуги b_1a_6 , так же как и первой и последующих спиц [8, 9]. Аналогично строится положение первой спицы в момент приземления на пятку a_1 . Остальные спицы вокруг корпуса ступицы строятся аналогично. Полученная кинематическая схема шагающего колеса крайне проста (см. рис. 2) и колесо может быть изготовлено из пластиково-резиновых материалов. Для устранения отклонения Δ_1 на пятке устанавливается каблук в виде амортизатора.

Второй способ основан на использовании прямолинейно направляющего механизма для осуществления шаговой походки. Упрощенно схему данного механизма можно представить как взаимодействие двух подобных равнобедренных или равнобедренных треугольников (рис. 3, а). Если высоту h равнобедренного треугольника acb концевыми точками a и b перемещать вдоль равных сторон ac и bc , то третья точка O другого подобного равнобедренного треугольника, построенного на отрезке высоты первого треугольника, будет перемещаться по прямолинейной траектории, параллельной основанию ab первого треугольника.

Схема такого шагающего колеса, осуществляющего движение, стоя на двух опорах a и b , показана на рис. 1, б. Колесо состоит из корпуса ступицы A , имеющей на каждой спице направляющие пазы B и опорные штанги $1-8$, которые могут перемещаться вдоль направляющих пазов B и возвратных пружин Π . На рис. 3, б

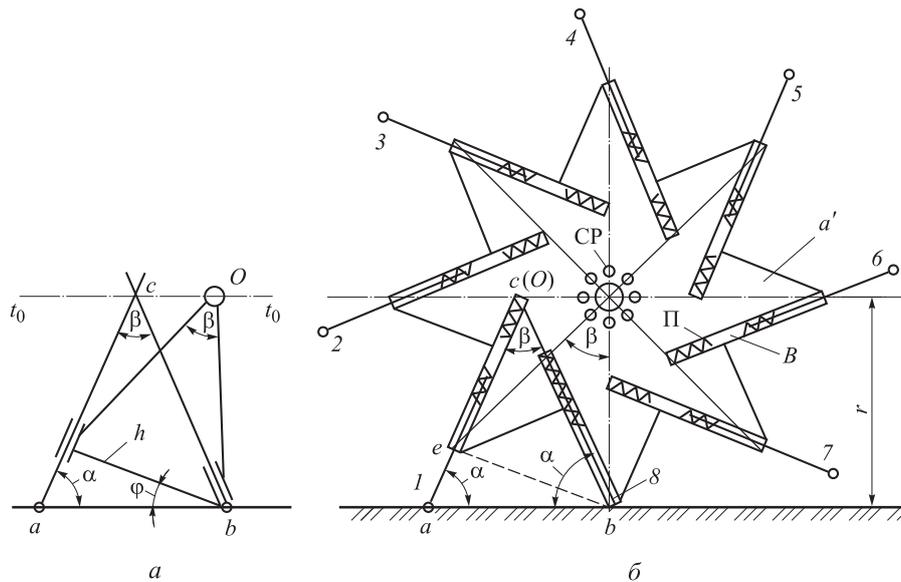


Рис. 3. Схема двух подобных равнобедренных треугольников (а) и конструктивно-кинематическая схема шагающего колеса (б)

изображено колесо с восемью спицами, поэтому угол $\beta = 360^\circ/8 = 45^\circ$. Подобные колеса могут иметь более девяти спиц.

Закон движения ступицы описывается уравнением

$$S = r(1 + \cos \varphi) / \sin \varphi,$$

где S — длина пути по прямолинейному участку дороги; r — радиус колеса; φ — угол поворота спицы.

Центр ступицы перемещается строго по прямолинейной траектории, но неравномерно вдоль траектории, так как закон движения $S(\varphi)$ не является линейной функцией [10].

Двухопорные транспортные средства с такими шагающими пневмоколесами не имеют дефекта передвижения, поскольку у них неравномерность движения центра ступицы совпадает с направлением основного движения ведущего колеса. Поэтому коэффициент комфортности

$$K = 1/w_{\Pi} = 1/1 = 1,$$

т. е. комфортность передвижения равна 100%.

При установке шагающих пневмоколес на одной поперечной оси момент приземления спицы обоих колес не совпадает и скорости центра ступицы колес отличаются. Поэтому образуется дополнительное число степеней подвижности рамы. Следовательно

$$K = 1/w_{\Pi} = 1/2 = 0,5,$$

т. е. комфортность передвижения составляет 50 %.

Выводы

1. Для увеличения комфортности движения на шагающих механизмах следует на каждое колесо устанавливать синхронизаторы.
2. Исследования работы пневмоколес в условиях бездорожья указывают на необходимость его модернизации, сохраняя при этом все его достоинства.

Литература

- [1] Муратов А.М., Кайнарбеков А.К., Сарыпбеков М., Мусин Т.О., Сазанбаева Р.И. *Шагающие движители*. Алматы, «Бастау», 2000. 182 с.
- [2] Муратов А.М., Кайнарбеков А.К., Сазанбаева Р.И. *Синтез схемы шагающего колеса*. Алматы, «Бастау», 2007. 205 с.
- [3] Муратов А.М., Кайнарбеков А.К. Синтез схемы исполнительного механизма 4-го класса. *Промышленный транспорт Казахстана*, 2007, № 5, с. 98–101.
- [4] Муратов А.М., Сазанбаева Р.И., Мусин Т.О. Синтез строения замкнутых кинематических цепей без избыточной связи. *Вестник КазАТК*, 2001, № 5, с. 75–79.
- [5] Муратов А.М., Телибаева А., Нурмаганбетова А. *Механизмдер теориясы*. Алматы, «Бастау», 2004. 134 с.
- [6] Кайнарбеков А.К., Муратов А.М., Омаров А.Д. *Хикаят шагающего колеса*. Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 270 с.

- [7] Сухамбаев А.К. *Исследование работы колесно-шагающего движителя для передвижения по лестничным маршам*. Дис. ... канд. техн. наук. Алматы, 2008. 104 с.
- [8] Муратов А.М., Кайнарбеков А.К. Энергетический анализ проходимости колеса и переход к его модернизации. *Вестник СибАДИ*, 2013, № 4(32), с. 20–25.
- [9] Омаров А.Д., Муратов А.М., Кайнарбеков А.К., Абиьданов Е.Ж. *Колесно-шагающий движитель*. Пат. РК на изобретение № 12-3/3205, 2014.
- [10] Kainarbekov A.K., Tanirbergenov A.K. Definition of optimum values of length femoral and top boot parts of spoke sixspoke of the treading wheel. *Seattle-2013: 4th International Academic Research Conference on Business, Education, Nature and Technology*. Kazakhstan. 4–5 November 2013, part 4; Seattle, WA, USA, pp. 235–237.

References

- [1] Muratov A.M., Kainarbekov A.K., Sarypbekov M., Musin T.O., Sazanbaeva R.I. *Shagaiushchie dvizhiteli* [Walking propulsion]. Almaty, «Bastau» publ., 2000. 182 p.
- [2] Muratov A.M., Kainarbekov A.K., Sazanbaeva R.I. *Sintez skhemy shagaiushchego koleasa* [Synthesis schemes walking wheels]. Almaty, «Bastau» publ., 2007. 205 p.
- [3] Muratov A.M., Kainarbekov A.K. Sintez skhemy ispolnitel'nogo mekhanizma 4-go klassa [Synthesis schemes actuator 4th class]. *Promyshlennyi transport Kazakhstana* [Industrial transport of Kazakhstan]. 2007, no. 5, pp. 98–101.
- [4] Muratov A.M., Sazanbaeva R.I., Musin T.O. Sintez stroeniia zamknutykh kinematicheskikh tsepei bez izbytochnoi svyazi [Synthesis of the structure of closed kinematic chains without redundant links]. *Vestnik. KazATK* [Herald KazATK named after M. Tynyshpayev]. 2001, no. 5, pp. 75–79.
- [5] Muratov A., Telibaeva A., Nurmaganbetova A. *Teoriia mekhanizmov* [Theory of mechanisms]. Almaty, «Bastau» publ., 2004. 134 p.
- [6] Kainarbekov A.K., Muratov A.M., Omarov A.D. *Khikaiat shagaiushchego koleasa* [Hick walking wheel]. Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 270 p.
- [7] Sukhambaev A.K. *Issledovanie raboty kolesno-shagaiushchego dvizhitelia dlia peredvizheniia po lestnichnym marsham*. Diss. kand. tekh. nauk [Investigation of the wheel-walking mover to move on stairwells. Cand. tehn. sci. diss.]. Almaty, 2008. 104 p.
- [8] Muratov A.M., Kainarbekov A.K. Energeticheskii analiz prokhodimosti koleasa i perekhod k ego modernizatsii [Energy analysis of tyre and the transition to its modernization]. *Vestnik SibADI* [SibADI Journal]. 2013, no. 4(32), pp. 20–25.
- [9] Omarov A.D., Muratov A.M., Kainarbekov A.K., Abil'danov E.Zh. *Kolesno-shagaiushchii dvizhitel'* [Wheel-walking mover]. Patent of Kazakh Republic no. 12-3/3205, 2014.
- [10] Kainarbekov A.K., Tanirbergenov A.K. Definition of optimum values of length femoral and top boot parts of spoke sixspoke of the treading wheel. *Seattle-2013: 4th International Academic Research Conference on Business, Education, Nature and Technology*. Kazakhstan, November 4–5, 2013, part 4, Seattle, WA, USA, pp. 235–237.

Статья поступила в редакцию 26.08.2014

Информация об авторах

КАЙНАРБЕКОВ Асемхан (Алматы) — доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе. Гуманитарный университет транспорта и права имени Д.А. Кунаева (050022, Алматы, Казахстан, Курмангазы ул., 107, e-mail: kainarbekov@mail.ru).

МУРАТОВ Абиьль (Алматы) — доктор технических наук, профессор кафедры «Транспорт, транспортная техника и Машиностроение». Институт путей сообщения структурного подразделения Гуманитарного университета транспорта и права имени Д.А. Кунаева (050022, Алматы, Казахстан, Курмангазы ул., 107, e-mail: kups1@mail.ru).

Information about the authors

KAYNARBЕКOV Asemkhan (Almaty) — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Vice Rector for Academic Affairs. University of Humanities and Law of Transport n.a. D.A. Kunaev (Kurman-gazy str., 107, 050022, Almaty, Kazakhstan, e-mail: kainarbekov@mail.ru).

MURATOV Abil' (Almaty) — Dr. Sc. (Eng.), Professor of «Transport, Transport Equipment and Machinery» Department. Institute of Transport and Communications, University of Humanities and Law of Transport n.a. D.A. Kunaev (Kurman-gazy str., 107, 050022, Almaty, Kazakhstan, e-mail: kups1@mail.ru).