

УДК 629.369

Е. С. Брискин¹, д-р физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой, dtm@vstu.ru,
В. А. Серов², канд. техн. наук, зам. генерального конструктора по проектированию,
С. С. Фоменко¹, аспирант, **Н. Г. Шаронов**¹, канд. техн. наук, доц.,
В. А. Шурыгин¹, д-р техн. наук, зав. кафедрой,

¹ Волгоградский государственный технический университет

² ОАО "ЦКБ "Титан"

Об определении допустимых параметров двигателей шагающих роботов¹

На основе показателей, характеризующих качество шагающих роботов, в пространстве параметров двигателей строится область, обеспечивающая допустимые значения показателей. Предложенный метод, позволяющий целенаправленно выбирать необходимые параметры двигателей на этапе проектирования, использовался при разработке шагающей машины "Ортоног".

Ключевые слова: шагающий робот, показатель качества, стопа, область допустимых параметров

Введение

Шагающие роботы отличаются друг от друга кинематическими схемами трансмиссии и двигателей, системами управления и другими узлами и системами, которые влияют на такие показатели, как профильная, грунтовая или опорная проходимость, экологичность при взаимодействии с грунтом и др. [1, 2].

Рассматривается метод определения допустимой области параметров, обеспечивающий требуемые показатели качества и позволяющий целенаправленно выбирать необходимые параметры двигателей при разработке шагающих роботов на этапе проектирования в зависимости от поставленных задач.

Шагающие двигатели, несмотря на давний и постоянный интерес со стороны большого числа исследователей, не обрели общепринятых конструктивных особенностей, как, например, колесные и гусеничные двигатели. Поэтому при проектировании новых шагающих машин (например, "Ортоног" [3, 4]) возникают многокритериальные задачи [5].

Одним из главных узлов шагающего робота является шагающий двигатель, а его основные параметры — длина шага и площадь опорной поверхности стопы (например, стопы круглой формы машины "Ортоног", рис. 1, см. вторую сторону обложки). Длина шага влияет на энергозатраты при перемещении и, в свою очередь, ограничена габаритными размерами машины и характеристиками приводов.

¹Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-08-01002 а, 14-08-97041 р_поволжье_а).

Площадь опорной поверхности стопы влияет на экологичность при взаимодействии с грунтом, а в совокупности с длиной шага — и на маневренность. Учет этих особенностей возможен при комплексной оценке показателей.

Постановка задачи

Качество конструкции шагающей машины и управление ее движением можно оценить различными показателями. Например, это могут быть частные показатели I_1, I_2, I_3, I_4 , характеризующие соответственно относительную зону бесконтактного преодоления препятствия, длину шага, среднее давление на грунт, среднюю силу сопротивления движению.

Эти частные показатели могут противоречить друг другу. Например, при увеличении длины шага уменьшаются силы сопротивления движению [6, 7], но растут габаритные размеры шагающей машины. Поэтому при поиске компромиссного решения необходимо проводить их комплексный анализ.

Такой метод решения основывается на совместном анализе частных показателей качества

$$I = (I_1, I_2, I_3, I_4). \quad (1)$$

Ставится задача определения значений параметров шагающей машины в виде зависимости между радиусом R круглой стопы механизма шагания (рис. 1, см. вторую сторону обложки) и длиной шага L , обеспечивающих допустимые значения частных показателей.

Для каждого из n частных показателей вводится условие, выполнение которого обеспечивает допустимые значения показателей:

$$I_i \leq [I_i], \quad (2)$$

где $[I_i]$ — предельно допустимое значение i -го частного показателя $I_i = f_i(R, L)$, зависящего от выбранных параметров исследуемого объекта.

Относительная зона бесконтактного преодоления препятствия

Показатель I_1 характеризует относительную зону бесконтактного преодоления препятствия и определяется выражением

$$I_1 = \frac{L - 2R}{L}, \quad (3)$$

где радиус R круглой стопы и длина шага L являются параметрами следовой дорожки механизма шагания (рис. 2).

Под следовой дорожкой понимается последовательность следов одного и того же механизма шагания.

Из соотношений (2) и (3) следует зависимость радиуса стопы от длины шага в виде условия, обеспечивающего допустимое значение $[I_1]$ показателя I_1 :

$$R \geq L \cdot \frac{1 - [I_1]}{2}. \quad (4)$$

Представленная на рис. 3 область допустимых значений для радиуса стопы в зависимости от длины шага ограничена прямой 1.

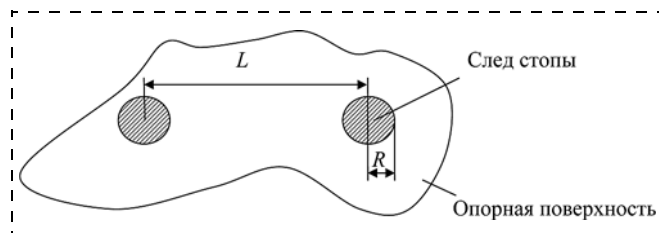


Рис. 2. Фрагмент следовой дорожки механизма шагания (R — радиус стопы, L — длина шага)

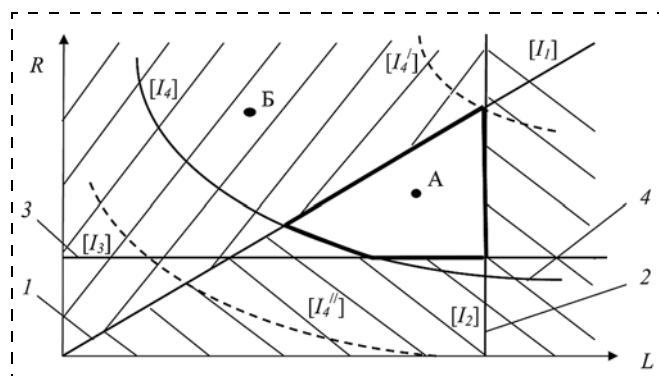


Рис. 3. Область допустимых значений параметров R и L шагающего движителя

Длина шага

Габаритные размеры машины, ход привода курсового движения, неравномерность нормальной нагрузки характеризует показатель I_2 , значение которого принимается прямо пропорциональным длине шага:

$$I_2 = L. \quad (5)$$

Как правило, машина больших габаритных размеров имеет и большую длину шага. Ограничения по размерам, ходу привода курсового движения, неравномерности нормальной нагрузки можно представить в виде полученного из формул (2) и (5) условия обеспечения допустимого значения $[I_2]$ показателя I_2 :

$$L \leq [I_2]. \quad (6)$$

На рис. 3 условию (6) соответствует область допустимых значений исследуемых параметров шагающего движителя, ограниченная прямой 2.

Среднее давление на грунт

Давление σ стопы шагающей машины на грунт, соответствующее значению показателя I_3 , определяется выражением

$$I_3 = \sigma = \frac{G}{\pi R^2}, \quad (7)$$

где G — средняя нормальная нагрузка, приходящаяся на один движитель шагающей машины. Допустимое значение показателя $[I_3]$ равно предельно допустимому давлению стопы движителя на грунт.

Из соотношения (2) с учетом формулы (7) получаем условие

$$R \geq \sqrt{\frac{G}{\pi [I_3]}}, \quad (8)$$

которое определяет соответствие параметров шагающего движителя требованию обеспечения экологичности при взаимодействии стопы с грунтом и повышения коэффициента сцепления. Как известно [8], при меньшем давлении коэффициент сцепления возрастает.

На рис. 3 условию (8) соответствует область значений параметров, ограниченная прямой 3.

Средняя сила сопротивления движению

Для шагающей машины средняя сила сопротивления движению определяется выражением [7, 9]

$$F_{\text{сопр}} = \frac{G^2}{2k\pi LR^2} = fG, \quad (9)$$

где k — коэффициент объемного смятия грунта [8]; f — коэффициент сопротивления движению.

Используя формулу (9), получаем значение коэффициента сопротивления движению, соответствующее частному показателю I_4 :

$$I_4 = f = \frac{G}{2k\pi LR^2}. \quad (10)$$

Из условия (2) с учетом формулы (10) получаем

$$R \geq \sqrt{\frac{G}{2k\pi[I_4]L}}, \quad (11)$$

где $[I_4]$ равно предельному значению коэффициента сопротивления движению. На рис. 3 выражению (11) соответствует область значений параметров R и L , ограниченная кривой 4.

Анализ результатов

Таким образом, полученная область значений параметров R и L ограничена предельно допустимыми значениями показателей I_1, I_2, I_3, I_4 (рис. 3). Расположение границ и форма области могут варьироваться при изменении предельно допустимых значений показателей (например, при изменении типа грунта (штриховые кривые $[I_4']$, $[I_4'']$ на рис. 3).

При смене грунта, по которому перемещается шагающая машина, возможно отсутствие области допустимых значений параметров R и L . Примером такой ситуации служит вариант, когда кривая $[I_4']$ пересекает только две прямые 1, 2 из трех прямых 1, 2, 3, соответствующих предельным значениям показателей I_1, I_2, I_3 . Возможны ситуации, когда грунт не влияет на область допустимых параметров (вариант, соответствующий кривой $[I_4'']$).

Выбранная произвольная точка A в области допустимых значений соответствует Парето-оптимальным [10] значениям параметров R и L , так как при любом изменении положения точки A в пределах области допустимых значений хотя бы один показатель будет ухудшаться (расстояние от точки A до границы области допустимых значений, ограниченной предельным значением соответствующего показателя, будет уменьшаться). Так, при перемещении точки A перпендикулярно к прямой 1 увеличится длина шага и уменьшится давление стопы на грунт, но в худшую сторону возрастет значение сопротивления движению. При перемещении точки A перпендикулярно к прямой 2 увеличится радиус стопы и давление стопы на грунт, но сократится значение сопротивления движению. Двигаясь перпендикулярно к прямой 3, получим уменьшение радиуса стопы, давления стопы на грунт и значения сопротивления движению.

Также возможно попадание полученных значений за пределы допустимой области (точка Б). В этом случае полученные значения параметров следует считать недопустимыми.

Заключение

Полученная область ограничивается предельными значениями показателей критериев качества шагающей машины, определяя допустимые значения параметров шагающего движителя: размеров стопы и длины шага шагающей машины. Вместе с тем, предложенный метод может применяться и для выбора конструктивных параметров других технических узлов.

Таким образом, показатели качества формируют область допустимых параметров шагающего движителя и позволяют на этапе проектного расчета определить условия, при которых конструкция транспортного средства будет соответствовать решению поставленных задач.

Список литературы

1. Брискин Е. С., Чернышев В. В., Малолетов А. В., Шаронов Н. Г. Сравнительный анализ колесных, гусеничных и шагающих машин // Робототехника и техническая кибернетика. 2013. № 1. С. 6—14.
2. Брискин Е. С., Чернышев В. В., Жога В. В., Малолетов А. В., Шаронов Н. Г., Фролова Н. Е. Концепция проектирования, динамика и управление движением шагающих машин. Ч. 3. Алгоритмы управления движением шагающих машин серии "Восьминог" и экспериментальные исследования // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. № 7. С. 13—18.
3. Брискин Е. С., Вершинина И. П., Малолетов А. В., Шаронов Н. Г. Об управлении движением шагающей машины со сдвоенными ортогонально-поворотными движителями // Известия РАН. Теория и системы управления. 2014. № 3. С. 168—176.
4. Шурыгин В. А., Серов В. А., Шаронов Н. Г. Моделирование движения шагающей машины с ортогонально-поворотными движителями // Изв. ВолгГТУ. Сер. "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". 2011. Вып. 11. № 9. С. 41—44.
5. Брискин Е. С., Калинин Я. В., Леонард А. В., Малолетов А. В. О прикладных экстремальных задачах с комплексным критерием качества // Сб. матер. XII Всеросс. совещания по проблемам управления ВСПУ-2014, ИПУ РАН, Москва. 2014. С. 2184—2195.
6. Брискин Е. С., Жога В. В., Чернышев В. В., Малолетов А. В. Динамика и управление движением шагающих машин с цикловыми движителями. М.: Машиностроение, 2009. 191 с.
7. Игнатьев М. Б., Кулаков Ф. М., Покровский А. М. Алгоритмы управления роботами-манипуляторами. Л.: Машиностроение, 1972. 248 с.
8. Гуськов В. В., Велев Н. Н., Атаманов Ю. Е. и др. Тракторы: Теория. М.: Машиностроение, 1988. 375 с.
9. Брискин Е. С., Соболев В. М. Тяговая динамика шагающих машин с ортогональными движителями // Проблемы машиностроения. 1990. № 3. С. 28—34.
10. Соболев И. М., Статников Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Дрофа, 2006. 176 с.

Definition of the Admissible Parameters of the Walking Robots' Movers

E. S. Briskin¹, dtm@vstu.ru, V. A. Serov², S. S. Fomenko¹, N. G. Sharonov¹, V. A. Shurygin¹,

¹ Volgograd State Technical University, Volgograd, 400005, Russian Federation

² TsKB Titan Co., Volgograd, 400071, Russian Federation

Received on February 20, 2015

Unlike the wheeled and tracked propulsion systems, the walking movers have not yet acquired common design features. Therefore, designers of new walking machines encounter multicriterion tasks. The authors consider definition of the admissible parameters of the walking robots' movers. Step length and area of the bearing surface of the foot are the main parameters of a walking mover. The quality of the design of a walking machine and control of its movement can be evaluated by particular quality indicators of the relative area of the contactless overcome obstacles, step length, average ground pressure, and moderate resistance to the movement. A comprehensive analysis of particular quality indicators will make it possible to obtain a compromise solution. The set task is determination of the parameter values of a walking machine in the form of the dependence of the radius of the round foot of the walking mechanism on the step length, ensuring admissible values of the particular indicators. If the conditions for each of the particular indicators are met, the admissible values of the indicators will be ensured. On the basis of the indicators, characterizing the quality of the walking robots, in the parameter space of the movers an area is built, ensuring the admissible values of the indicators. The obtained area is restricted by the limiting value of the quality criteria indicators of a walking machine, determining the admissible values of a walking mover: foot size and step length of a walking machine. The location of the boundaries and the shape of the area may vary with a change of the limiting values of the indicators. Thus, the quality indicators form the area of the admissible parameters of a walking mover. The proposed method makes it possible to select the desired parameters of a mover at the design stage. It was used in the development of Ortonog walking machine.

Keywords: walking machine, quality indicator, walking movers, foot, area of valid parameters

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 14-08-01002 a, 14-08-97041 r_povolzh'e_a

For citation:

Briskin E. S., Serov V. A., Fomenko S. S., Sharonov N. G., Shurygin V. A. Definition of the Admissible Parameters of the Walking Robots' Movers, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 6, pp. 369–372.

DOI: 10.17587/mau.16.369-372

References

1. Briskin E. S., Chernyshev V. V., Maloletov A. V., Sharonov N. G. *Sravnitel'nyi analiz kolesnykh, gusenichnykh i shagayushchikh mashin* (Comparative analysis of wheeled, tracked and legged machines), *Robototekhnika i Tekhnicheskaya Kibernetika*, 2013, no. 1, pp. 6–14 (in Russian).
2. Briskin E. S., Chernyshev V. V., Zhoga V. V., Maloletov A. V., Sharonov N. G., Frolova N. E. *Kontseptsiya proektirovaniya, dinamika i upravlenie dvizheniem shagayushchikh mashin. Ch. 3. Algoritmy upravleniya dvizheniem shagayushchikh mashin serii "Vos'minog" i eksperimental'nye issledovaniya* (Concept design, dynamics and motion control of walking machines. Ch 3. Algorithms for motion control of walking machines series "the Octopus" and experimental studies), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2005, no. 7, pp. 13–18 (in Russian).
3. Briskin E. S., Vershinina I. P., Maloletov A. V., Sharonov N. G. *Ob upravlenii dvizheniem shagayushchei mashiny so sdvoennymi ortogonal'no-povorotnymi dvizhitelyami* (About the motion control walking machine with dual orthogonal-rotating propellers), *Izvestiya RAN. Teoriya i Sistemy Upravleniya*, 2014, no. 3, pp. 168–176 (in Russian).
4. Shurygin V. A., Serov V. A., Sharonov N. G. *Modelirovanie dvizheniya shagayushchei mashiny s ortogonal'no-povorotnymi dvizhitelyami* (Modeling the movement of a walking machine with orthogonal-rotating propellers), *Izv. VolgGTU. Ser. "Aktual'nye Problemy Upravleniya, Vychislitel'noi Tekhniki i Informatiki v Tekhnicheskikh Sistemakh"*, 2011, iss. 11, no. 9, pp. 41–44 (in Russian).
5. Briskin E. S., Kalinin Ya. V., Leonard A. V., Maloletov A. V. *O prikladnykh ekstremal'nykh zadachakh s kompleksnym kriteriem kachestva* (About applied extreme problems with complex quality criteria), *Sbornik Materialov XII Vseross. Soveshchaniya po Problemam Upravleniya VSPU-2014*, IPU RAN, Moskva. 2014. S. 2184–2195 (in Russian).
6. Briskin E. S., Zhoga V. V., Chernyshev V. V., Maloletov A. V. *Dinamika i upravlenie dvizheniem shagayushchikh mashin s tsiklovymi dvizhitelyami: monografiya* (Dynamics and motion control of walking machines with cyclic walking propellers: monograph), Moscow, Mashinostroenie, 2009, 191 p. (in Russian).
7. Ignat'ev M. B., Kulakov F. M., Pokrovskii A. M. *Algoritmy upravleniya robotami-manipulyatorami* (Algorithms for control of robotic manipulators), Leningrad, Mashinostroenie, 1972, 248 p. (in Russian).
8. Gus'kov V. V., Velez N. N., Atamanov Yu. E., Bocharov N. F., Ksenevich I. P., Solonskii A. S. *Traktory: Teoriya* (Tractors: Theory), Moscow, Mashinostroenie, 1988, 375 p. (in Russian).
9. Briskin E. S., Sobolev V. M. *Tyagovaya dinamika shagayushchikh mashin s ortogonal'nymi dvizhitelyami* (Traction dynamics of walking machines orthogonal propulsion systems), *Problemy Mashinostroeniya*, 1990, no. 3, pp. 28–34. (in Russian).
10. Sobol' I. M., Statnikov R. B. *Vybor optimal'nykh parametrov v zadachakh so mnogimi kriteriyami* (Selection of optimal parameters in problems with many criteria), Moscow, Drofa, 2006, 176 p. (in Russian).

Corresponding author:

E. S. Briskin, D. Sc., Professor, Head of Chair, Volgograd State Technical University, Volgograd, 400005, Russian Federation, e-mail: dtm@vstu.ru