

УДК 629.369

DOI 10.35211/1990-5297-2020-9-244-89-93

*Н. Г. Шаронов^{1, 2}, А. П. Кириллов¹, А. В. Малолетов^{1, 2}***ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОФИЛЬНОЙ ПРОХОДИМОСТИ
ШАГАЮЩЕЙ МАШИНЫ С ЦИКЛОВЫМИ ДВИЖИТЕЛЯМИ***¹ Волгоградский государственный технический университет² Центр технологий компонентов робототехники и мехатроники,

Университет Иннополис

sharonov@vstu.ru

Рассмотрен метод преодоления препятствия типа «ров» шагающей машиной с цикловыми движителями. Описаны количественные характеристики показателя профильной проходимости. Приведены результаты экспериментальных исследований предложенного метода повышения профильной проходимости шагающей машины с цикловыми движителями.

Ключевые слова: цикловой движитель, шагающая машина, профильная проходимость.

*N. G. Sharonov^{1, 2}, A. P. Kirillov¹, A. V. Maloletov^{1, 2}***RESEARCH OF INDICATORS OF PROFILE PASSABILITY
OF A WALKING MACHINE WITH CYCLE MOVERS**¹ Volgograd State Technical University² Center for Technologies in Robotics and Mechatronics Components,

Innopolis University

The method of overcoming an obstacle of the "moat" type by a walking machine with cycle movers is considered. Quantitative characteristics of the profile passability in indicator are described. The results of experimental research of the proposed method of increasing the profile passability of a walking machine with cycle movers are presented.

Keywords: cycle mover, walking machine, profile passability.

Введение

К показателям профильной проходимости [1–3] для машин с традиционными движителями относят: ширину преодолеваемого рва, высоту ступени, величину дорожного просвета, допустимые углы подъема и спуска машины, допустимый угол косогора и некоторые другие. В зависимости от конструкции шагающей машины эти показатели для нее могут определяться аналогично традиционным транспортным средствам, а могут требовать более сложных методов определения.

**Профильное препятствие
типа «ров»**

Под рвом понимается глубокая впадина на опорной поверхности, на дно которой опереться запрещено или невозможно. Предполагается, что ров преодолевается в квазистатическом режиме, то есть возможностью проехать этот участок дороги за счет инерционных свойств машины пренебрегается. Считается также, что опорная поверхность жесткая и достаточно прочная. На деформируемой и разрушающейся

поверхности ширина преодолеваемого рва меньше предельных значений.

Для колесной машины ширина преодолеваемого рва определяется размерами колеса. Предельное значение ширины рва равно примерно $2/3$ диаметра колеса (рис. 1, а).

Для гусеничной машины ширина преодолеваемого рва равна расстоянию вдоль продольной оси от центра тяжести машины до ближайшего крайнего переднего или крайнего заднего катка гусеницы (рис. 1, б).

Схемы преодоления препятствий шагающими машинами показаны на рис. 1, в–д. Пунктиром обозначено положение шагающего движителя в начале шага; сплошной линией – в конце шага. Заштрихованная область – зона, запретная для наступания, которая может не являться рвом. Шагающие движители показаны условно, безотносительно их конкретной конструкции. Нога, преодолевающая препятствие, показана в двух положениях: пунктиром – в начале шага; сплошной линией – в конце шага; расстояние между ними характеризует максимальную длину шага.

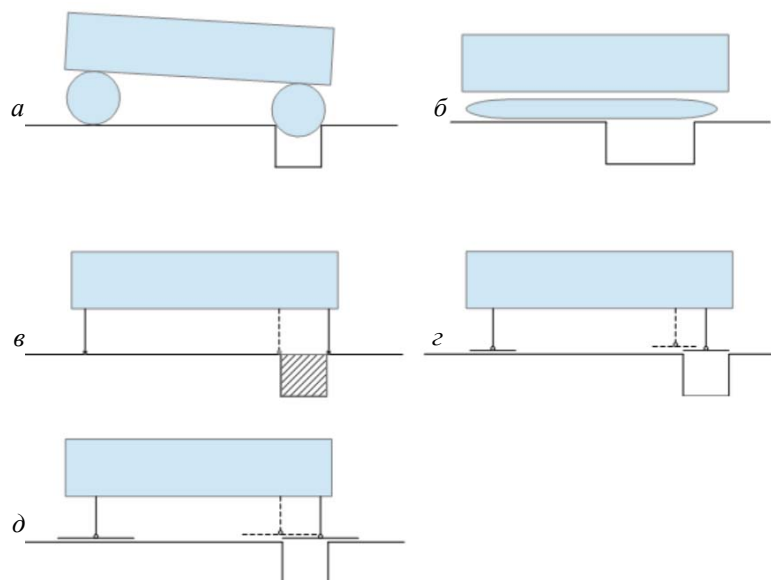


Рис. 1. Схемы преодоления рва:

a – колесной машиной; *б* – гусеничной машиной; *в* шагающей машиной со стопами меньше длины шага; *г* – шагающей машиной с длиной шага больше половины длины стопы и меньше длины стопы; *д* – шагающей машиной с длиной шага меньше половины длины стопы

Для шагающих машин предельная ширина D преодолеваемого рва в простейшем случае для неуправляемых стоп определяется в зависимости от соотношения максимальной длины шага L_s и длины стопы L_f :

$$D = \begin{cases} L_s, & \text{если } L_f \leq L_s \\ L_f, & \text{если } L_f/2 < L_s < L_f \\ L_s + L_f/2, & \text{если } L_s \leq L_f/2 \end{cases}$$

В ряде случаев необходимо также учитывать взаимное расположение движителей на машине, возможность управления стопами и другие факторы.

Еще одной особенностью шагающих машин является то, что при достаточно малых размерах стоп «преодолеваемый ров» может представлять собой не впадину в опорной поверхности, а запрещенную для наступания зону (рис. 1, *в*), например, место расположения мины в военном деле или растение в сельскохозяйственной деятельности. Для колесных и гусеничных машин бесконтактное преодоление такого рода препятствий не представляется возможным.

Возможности повышения профильной проходимости машин с цикловыми движителями

Рассмотрим возможности по преодолению препятствия типа «ров» или определенной зоны

опорной поверхности шагающей машиной с цикловым движителем [4–6].

Следовая дорожка, образованная точками взаимодействия опор криволинейного шатуна механизмов шагания машины с цикловыми движителями [7–8] с грунтом строго фиксирована, определяется длиной шага в относительном движении l и взаимным расположением движителей на борту, характеризуемым минимальным расстоянием Δ между траекториями опорных точек передних и задних движителей. Кроме того, ввиду переменной скорости опорной точки механизма шагания по траектории необходимо, с целью обеспечения равенства скоростей опорных точек переднего и заднего механизмов шагания, устанавливать такую походку чтобы, например, ведущие кривошипы переднего левого и заднего правого механизмов шагания на каждом из бортов находились в одной фазе.

Шагающие машины типа «Восьминог» (рис. 2) имеют фиксированную следовую дорожку, и никакая система управления не в состоянии обеспечить постановку опоры механизма шагания в заданную точку.

Конструкция шагающей машины «Восьминог М» дает возможность вывешивать машину так, что опоры цикловых движителей курсового движения не взаимодействуют с грунтом в течение всего цикла работы привода курсового перемещения. В свою очередь это позволяет, с одной стороны, осуществлять поворот машины на 360° без скольжения и буксования стоп

на грунте, а с другой, изменять начальное положение стоп относительно грунта перед преодолением препятствий, т. е. осуществлять смещение следовой дорожки на определенную величину $\lambda \leq l$.

В отличие от конструктивных параметров l и Δ , параметр λ является управляемым. Поэтому возможна постановка задачи о таком его выборе, при котором за одну установку (подъем машины и сдвига походки) преодолевается максимум запрещенных зон постановки стопы на грунт. Для этого с помощью технического зрения предварительно определяются координаты границ запрещенных зон.

Конструкция шагающей машины «Восьминог М 2» [9] отличается от машины «Восьминог М» наличием дифференциала вместо раздаточного редуктора, передающего крутящий момент от двигателя к ведущим кривошипам передних и задних движителей. Дополнительно, на каждом из бортов предусмотрены управляемые тормоза, позволяющие уменьшать обороты ведущего кривошипа переднего или заднего движителя. Аналогичный эффект можно

получить, используя индивидуальный привод каждого из движителей [8].

В вывешенном на подъемных движителях (домкратах) состоянии машины и работе привода курсового движения при полностью заторможенном кривошипе (например, заднего движителя) происходит сдвиг походки на величину ε , $0 \leq \varepsilon \leq l$.

Последовательная согласованная [9] работа приводов движителей позволяет реализовать преодоление препятствий машиной с цикловыми шагающими движителями.

Экспериментальная проверка алгоритма управления походкой шагающей машины «Восьминог М»

Для исследования алгоритма при переступании стопы через запрещенную для наступания зону проведен эксперимент на опытном образце шагающей машины «Восьминог М2» [10].

Конструктивные параметры (рис. 2) машины «Восьминог М2»: длина шага в относительном движении $l = 0,74$ м; минимальное расстояние между траекториями опорных точек передних и задних движителей одного борта $\Delta = 2,8$ м.

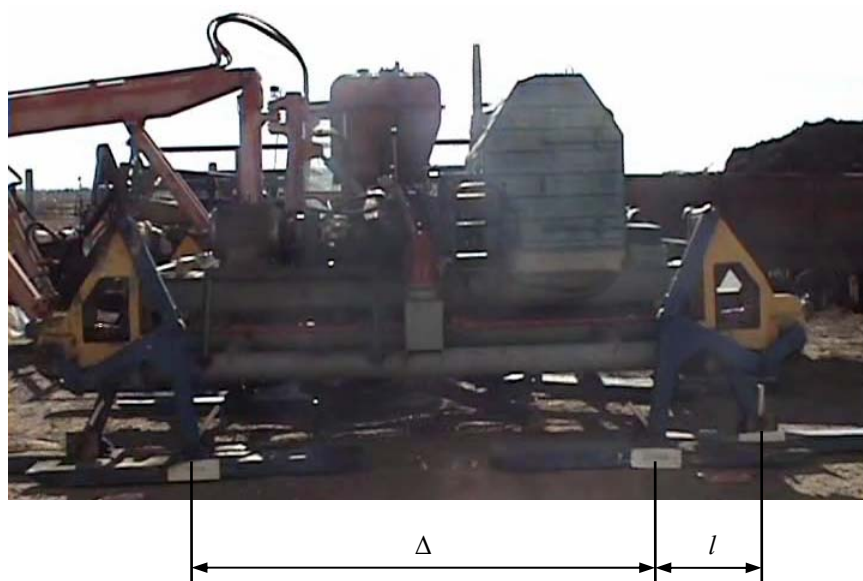


Рис. 2. Конструктивные параметры шагающей машины «Восьминог»

Конструкция рассматриваемой машины позволяет применять в качестве опорных элементов сменные стопы различных размеров, что позволяет варьировать зоной контакта стопы с грунтом в значительных пределах (рис. 3).

Для удаленного контроля предназначенной для опоры механизма шагания поверхности используется видеосистема маршевого движения и видеосистема маневрирования [11]. Видео-

система маневрирования предназначена для точной (по сравнению с маршевой видеосистемой) оценки поверхности, предназначенной для опоры механизма шагания. Кадр видеосъемки включает изображение опорной стопы и изображение препятствия. При использовании размеров стопы в качестве эталона определяется масштабный коэффициент как отношение размеров стопы к числу занимаемых изображени-

ем стопы пикселей на кадре. Умножив число пикселей, занимаемых изображением препятствия, на масштабный коэффициент, получим реальные размеры препятствия.

С целью иллюстрации алгоритма для имитации стопы и запрещенной зоны применены маркеры длиной 0,2 м (рис. 4).



Рис. 3. Опоры шагающей машины



Маркер стопы

Маркер зоны

Рис. 4. Установка маркеров на движителях

При движении шагающей машины расположение следовой дорожки возможно таким образом, что опорные точки механизма шагания попадают в зону, запрещенную для наступания. Конструктивная схема машины «Восьминог» (без дополнительных подъемно-поворотных движителей) не позволяет изменять параметры походки, вследствие чего дальнейшее движение приводит к постановке стопы в запрещенную зону.

Эксперимент состоит в управлении параметром походки λ , т. е. в изменении начального положения стоп относительно грунта перед преодолением препятствия (запрещенной зоны). Для этого в вывешенном на подъемных движителях (домкратах) состоянии машины с помощью привода курсового движения про-

изводится изменение фазы ведущих кривошипов движителей одного борта.

В процессе движения фиксируются координаты границ запрещенных зон относительно системы координат, связанной с машиной. При достижении границы запрещенной зоны курсовое движение прекращается, что соответствует положению механизма шагания на рис. 5.

Производится оценка возможности преодоления запрещенных зон. Например, в проведенном натурном эксперименте, так как размер маркера запрещенной зоны 0,2 м меньше длины шага в относительном движении $l = 0,74$ м с учетом длины маркера стопы $l_{cm} = 0,2$ м, то после изменения параметров походки запрещенную зону возможно преодолеть.



Рис. 5. Момент достижения стопой запрещенной зоны

Экспериментальные исследования [10] предлагаемого алгоритма управления параметрами походки, проведенные на натурном образце шагающей машины «Восьминог М», показали возможность применения предложенной усовершенствованной конструкции шагающей машины для преодоления зон, запрещенных для наступания.

Заключение

Алгоритмы походки шагающей машины с индивидуальным управлением одностепенными цикловыми движителями позволяют реализовать одно из основных преимуществ шагающих машин – дискретное преодоление препятствий.

Гарантированное преодоление препятствия типа «ров» шагающей машиной с цикловыми движителями возможно при индивидуальном приводе движителей, обеспечивающих изменение походки, и предварительной идентификации препятствия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сравнительный анализ колесных, гусеничных и шагающих машин / Е. С. Брискин, В. В. Чернышев, А. В. Малолетов, Н. Г. Шаронов // Робототехника и техническая кибернетика. – 2013. – № 1. – С. 6–14.
2. Жога, В. В. Расчет и проектирование шагающих транспортных машин : учеб. пособ. / В. В. Жога, В. М. Труханов, А. Г. Дудкин ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2002. – Ч. I. – 132 с.
3. Малолетов, А. В. Оптимизация структуры, параметров и режимов движения шагающих машин со сдвоенными движителями : монография / А. В. Малолетов, Е. С. Брискин ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – 174 с.
4. Чебышев, П. Л. О преобразовании вращательного движения в движение по некоторым линиям при помощи

сочлененных систем. В. кн.: Полное собрание сочинений П. Л. Чебышева. Т. IV. Теория механизмов. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1948. – С. 161–166.

5. Динамика и управление движением шагающих машин с цикловыми движителями : монография / Е. С. Брискин, В. В. Жога, В. В. Чернышев, А. В. Малолетов ; под ред. Е. С. Брискина. – М., 2009. – 191 с.

6. Bessonov, A. P. Six Link Mechanisms for the Legs of Walking Machines / A. P. Bessonov, N. V. Umnov, V. V. Korenovsky and others // Thirteenth CISM – IFToMM Symposium on the Theory and Practice of Robots and Manipulators – Ro.Man.Sy. 2000: Book of Abstracts, July 3–6, 2000. – Zakopane, Poland, 2000. – P. 347–354.

7. Walking machines (elements of theory, experience of elaboration, application) / E. S. Briskin and others // Emerging Trends in Mobile Robotics : proc. of the 13th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines, 31 Aug. – 3 Sept. 2010 / Nagoya Inst. of Technology, Japan. – [Nagoya, Japan], 2010. – P. 769–776. – Англ.

8. Малолетов, А. В. Управление движением сдвоенного циклового шагающего движителя с индивидуальными приводами механизмов шагания / А. В. Малолетов, А. П. Кириллов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3 (226) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»). – С. 30–37.

9. Брискин, Е. С. Об управлении походкой шагающей машины «Восьминог» / Е. С. Брискин // Мехатроника, автоматизация, управление: приложение к журналу. – 2008. – № 5. – С. 6–10.

10. Шаронов, Н. Г. Синтез алгоритма управления приводом цикловых движителей шагающей машины в особых условиях / Н. Г. Шаронов, Я. В. Калинин // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 11 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 9). – С. 40–43.

11. Выбор алгоритма управления автономным движением шагающей машины с цикловыми движителями / Е. С. Брискин, В. В. Жога, А. В. Малолетов, Д. Н. Покровский, Н. Г. Шаронов, В. А. Шурыгин // Искусственный интеллект. – 2007. – № 3. – С. 357–366.