

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ РЕКОНФИГУРАЦИИ КОЛЕСНО-ГУСЕНИЧНОГО РОБОТА

У Цюе

аспирант

Рачков Михаил Юрьевич

д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Московский

политехнический университет»

**Аннотация:** Рассмотрена актуальная задача создания транспортного автономного робота для работы в условиях чрезвычайных ситуаций. Блок реконфигурации робота выполнен в виде рычажного устройства с электрическими цилиндрами, имеющем возможность самоблокировки. Разработана кинематическая модель блока реконфигурации. Получены соотношения между углами и длинами рычагов, а также взаимосвязь между угловой скоростью перемещения рычагов и скоростью движения толкателя электрического цилиндра рычажного механизма.

**Ключевые слова:** Транспортный робот, колесно-гусеничная конструкция, блок реконфигурации, рычажный механизм, кинематическая модель.

## KINEMATICS STUDY OF WHEEL-CATERPILLAR ROBOT RECONFIGURATION

Wu Que

Rachkov Mikhail Yurievich

**Abstract:** The actual problem of creating a transport autonomous robot for work in emergency situations is considered. The robot reconfiguration block is made in the form of a lever device with electric cylinders, which has the possibility of self-locking. A kinematic model of the reconfiguration block has been developed. Relations between the angles and lengths of the levers, as well as the relationship between the angular velocity of the levers and the speed of the pusher of the electric cylinder of the lever mechanism are obtained.

**Key words:** Transport robot, wheel-caterpillar structure, reconfiguration unit, lever mechanism, kinematic model.

### Введение

В условиях чрезвычайных ситуаций, например при пожарах, и при проведении опасных для человека операций, таких как разминирование, необходимо доставить соответствующее технологическое, инспекционное или спасательное оборудование в рабочую зону в автоматическом режиме. Удобным решением задачи является использование транспортных роботов, имеющих соответствующее оборудование на своем борту.

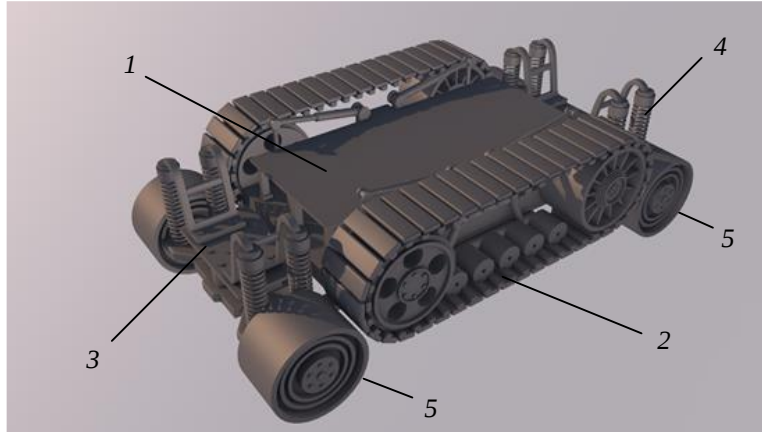
Существуют транспортные роботы для применения в условиях чрезвычайных ситуаций, имеющие гусеничные группы и платформу для установки бортового оборудования [1, с. 275-291; 2, с. 701-702; 3, с. 447-459; 4, с. 35-57]. Эти роботы имеют возможность перемещения в неизвестных или внедорожных условиях, однако не могут преодолевать препятствия, в частности, сравнимые с высотой гусеничных групп, а также не в состоянии перемещаться по ступенькам лестничного марша. Из-за отсутствия колес они обладают низкой скоростью движения по ровным поверхностям, что часто необходимо для самостоятельного быстрого попадания робота в зону проведения работ с места дислокации по магистралям.

Эти недостатки отсутствуют в колесно-гусеничных конструкциях мобильных роботов, которые позволяют перемещаться по различным видам поверхностей, включая условия урбанистического окружения, где необходимо преодолевать препятствия сложной конфигурации, например лестничные марши [5, с. 1-5].

В настоящее время разрабатываются различные механизмы реконфигурации автоматических систем, в частности, в Шэньянском институте автоматизации в Китае [6, с. 3-6]. Однако, структура этих механизмов сложная и трудно управляемая, что снижает надежность функционирования робота. В данной работе предлагается использование блока для реконфигурации робота в виде шарнирного устройства с электрическими цилиндрами, которое дает возможность гибкого и надежного управления движением робота в зависимости от конкретной ситуации и проводится его кинематическое исследование.

### Конструкция мобильного робота

Конструкция робота содержит комбинированную систему движителей, состоящую из трансформируемых гусеничных и колесных групп (рис. 1).



**Рис. 1. Схема мобильного робота**

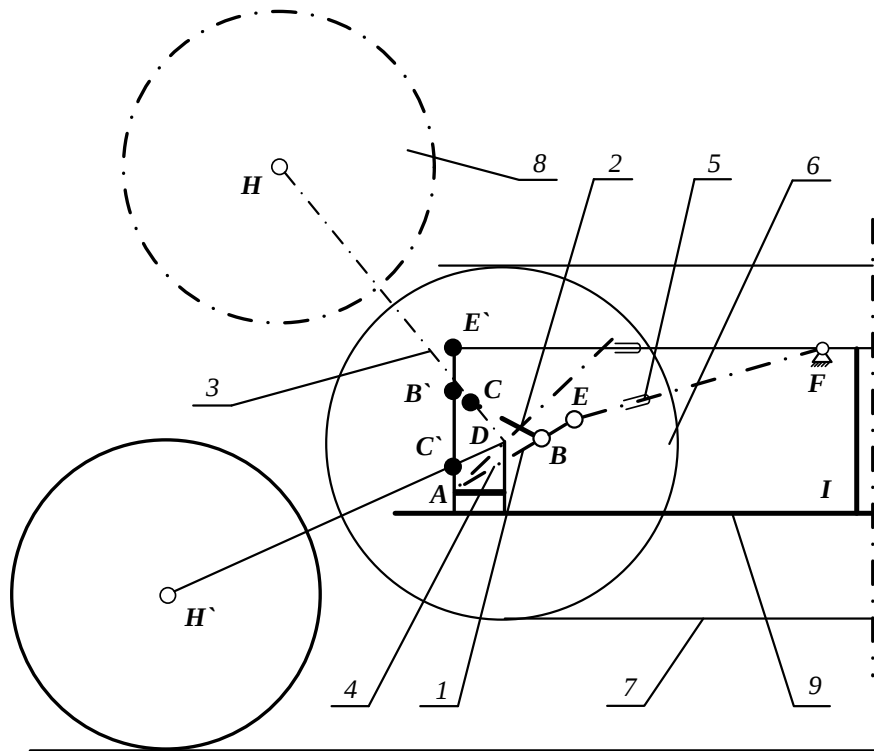
**1 – платформа, 2 – гусеничная группа, 3 – передний блок реконфигурации, 4 – задний блок реконфигурации, 5 – колесная группа**

Робот имеет два гусеничных движителя, расположенных по бокам платформы для оборудования, и два колесных движителя, установленных спереди и сзади платформы между гусеничными группами. Блок реконфигурации позволяет трансформировать робот для преодоления различных препятствий.

Движение по ровной поверхности осуществляется только колесными группами с втянутыми выдвижными элементами при поднятых гусеничных группах, что обеспечивает повышенную скорость движения устройства. Движение по неровной поверхности осуществляется только гусеничными группами, при этом колесные движители подняты, что обеспечивает повышенную проходимость по сравнению с ровной поверхностью. Лестничные марши и препятствия сложной геометрической формы могут преодолеваются при одновременном использовании колесных и гусеничных групп, при этом угол положения колесных групп относительно гусеничных групп определяется размерами и формой ступеней лестничного марша и препятствий.

### Блок реконфигурации робота

Блок реконфигурации робота, выполненный в виде шарнирного устройства с электрическими цилиндрами, показан на рис. 2.

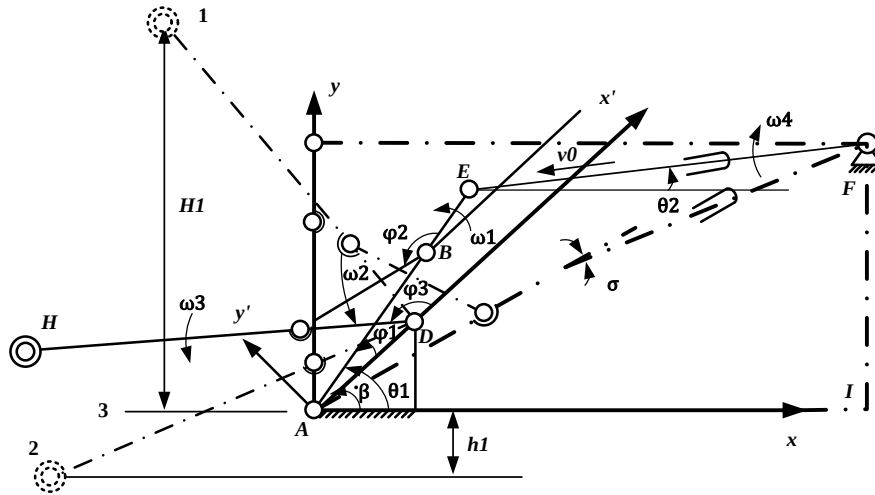


**Рис. 2. Блок реконфигурации робота**

**1 – поворотный рычаг, 2 – шатун, 3 – колесный рычаг, 4 – основание,  
5 – электрический цилиндр, 6 – колесо гусеничной группы, 7 – гусеница,  
8 – колесо колесной группы, 9 – платформа робота**

Когда режим движения переключается с гусеничного на колесный, толкатель электрического цилиндра выдвигается, толкая поворотный рычаг и организуя вращение вокруг точки А. Поворотный рычаг приводит в движение шатун, который толкает колесный рычаг. После того, как толкатель полностью выдвинут, поворотный рычаг находится в вертикальном положении. В это время шатун блокирует рычажное устройство. Вибрации при движении робота воспринимаются шатуном в вертикальном направлении, что предотвращает повреждение электрического цилиндра. Когда режим движения переключается с колесного на гусеничный, толкатель электрического цилиндра втягивается, и последовательность движения меняется на обратную. После завершения движения рычажное устройство снова блокируется.

Упрощенная кинематическая модель механизма показана на рис. 3.



**Рис. 3. Кинематическая модель механизма**

**EF – телескопическая тяга привода, 1 – верхнее положение колеса,  
2 – нижнее положение колеса, 3 – уровень платформы**

В системе координат  $x'Ay'$  обозначим длину поворотного рычага  $l_{AB}$ , длину шатуна  $l_{BC}$ , длину колесного рычага  $l_{DC}$  и расстояние между поворотными сочленениями  $l_{AD}$ . Для этих значений запишем замкнутое векторное уравнение:

$$l_{AB} e^{i\varphi_1} + l_{BC} e^{i\varphi_2} = l_{AD} + l_{DC} e^{i\varphi_3}, \quad (1)$$

где:  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  – углы между колесным рычагом, шатуном, поворотным рычагом и осью  $x'$ .

Из уравнения (1) получим следующие соотношения:

$$\varphi_3 = 2 \arctan \frac{b \pm \sqrt{a^2 + b^2 - c^2}}{a - c}, \quad (2)$$

$$\text{Где } a = l_{AD} - l_{AB} \cos \varphi_1; b = -l_{AB} \sin \varphi_1; c = \frac{a^2 + b^2 + l_{DC}^2 - l_{BC}^2}{2l_{DC}}$$

Соотношение между углами и длинами рычагов можно получить в системе координат  $xAy$ :

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= \theta_1 - \beta, \\ l_{EF} &= l_0 + \delta,\end{aligned}\tag{3}$$

где  $l_0$  – номинальная длина электрического цилиндра,  $\delta$  – длина выдвижения электрического цилиндра.

Разница высот между самой низкой точкой колеса и самой нижней точкой гусеницы определяется как

$$h = l_{DH} \sin(\varphi_3 + \beta) - r + R, \quad (4)$$

где  $r$  – радиус колеса колесной группы,  $R$  – радиус колеса гусеницы;  $l_{DH}$  – длина колесного рычага. При колесном режиме движения знак  $h$  положительный, а при гусеничном режиме – отрицательный.

Соотношения для угловой скорости может быть получено из уравнения (1) путем дифференцирования:

$$\omega_1 = \frac{v_0}{l_{AE}(\theta_1 - \theta_2)}, \quad (5)$$

где  $v_0$  – скорость движения толкателя электрического цилиндра,

$$\omega_3 = \omega_1 \frac{l_{AB}(\varphi_1 - \varphi_2)}{l_{DC}(\varphi_3 - \varphi_2)}. \quad (6)$$

Полученные соотношения описывают взаимосвязь элементов конструкции и их можно использовать для управления колесными рычагами при соответствующей реконфигурации робота.

### Заключение

На базе типового рычажного устройства с возможностью самоблокировки построен блок реконфигурации мобильного робота, реализующий переключение колесного и гусеничного режимов его движения. Разработана кинематическая модель блока реконфигурации, дающая возможность более точной системы управления роботом.

### Список литературы

1. Rachkov M., Marques L., de Almeida A.T., Multisensor demining robot, Autonomous robots, Springer Science, Vol.18, No.3, 2005, pp. 275-291.
2. Hastie J., Jacobs B., Martell C., et al. Development of a new for the Foster-Miller Talon Robot, MIMEU701-702. Technical Design Report. 2005.
3. Lee C., Kim S., Kang S., et al. Double-track mobile robot for hazardous environment applications. Advanced Robotics, 2003;17 (5), pp. 447-459.
4. Morris A., Ferguson D., Omohundro Z., et al. Recent developments in subterranean robotics. Journal of Field Robotics, 2010, 23(1), pp. 35-57.
5. Rachkov M., Emelyanov A., Kolot V. Reconfigurable Autonomous Wheel-Tracked Robot, International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russia, 2019, pp. 1-5.
6. Wang W. Study on tracked mobile robot with manipulator in complex terrain. Harbin Institute of Technology, 2009, pp. 3-6. (in Chinese).