

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

УДК 621.01

А.С. Фомин, С.В. Киселев, А.В. Олексенко

Сибирский государственный индустриальный университет

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ЯНСЕНА*

В настоящее время одним из быстроразвивающихся направлений робототехники является разработка шагающих механизмов и роботов. Такие работы были начаты еще Леонардо да Винчи: в период 1495 – 1497 гг. он спроектировал и изготовил механическую лошадь, которая посредством установленных внутри ее каркаса механических передач могла совершать шагающие движения [1]. Далее в этом направлении важные результаты были получены П.Л. Чебышевым, в 1850 г. им разработана стопоходящая машина [2]. Позже, в 1893 г. Л.А. Рэгг разработал механическую лошадь, в которой в качестве приводов использованы педали так что, всадник мог управлять лошадью, сидя в седле. Движение педалей через рычаги и шестерни передавалось на ноги лошади, которые совершали стопоходящие движения [3]. Эта разработка была запатентована в США [4].

Во второй половине XX века Д. Шигли разработал несколько типов роботов, основанных на плоских механизмах [5]. После этого, в 1968 г. Р. Мошер (General Electric) разработал четырехногую шагающую машину под названием «General Electric Quadruped» [6]. В 1980 г. Ш. Хироуз и Й. Уметани разработали четырехногий шагающий робот, в котором ноги выполнены в виде механизма пантографа [7, 8]. Этот робот в 2008 г. был модернизирован и в настоящее время применяется в качестве машины для сверления отверстий с целью укрепления крутых склонов для предотвращения оползней. В 1990 г. голландский художник и скульптор Т. Янсен создал одноподвижный механизм, реализующий шагающее движение [9]. При объединении нескольких механизмов в единую конструкцию получают вполне работоспособные механизмы, которые под действием ветра самостоятельно передвигаются по горизонтальной поверхности. Сам Т. Янсен назвал эти конструкции «пляжными животными» (Strandbeest – перевод с нидерл.), так как они

способны передвигаться по песчаным пляжам под воздействием ветра. Из других типов шагающих механизмов стоит отметить системы, разработанные Джо Кланом в 1994 г. [10] и Амандой Гассэ в 2011 г. [11] на основе плоских кинематических цепей.

В настоящей работе проведен структурный анализ механизма Янсена, а также определена траектория движения его выходного звена.

Структурный анализ механизма Янсена

Одним из преимуществ шагающих роботов, созданных на основе механизма Янсена, является возможность установки единственного привода, что позволяет иметь относительно небольшую массу конструкции при получении разных траекторий движения ноги робота. Для проведения структурного анализа механизма Янсена рассмотрим кинематическую схему (рис. 1).

Ведущее звено выполнено в виде кривошипа 1, передающего движение шатунам 2 и 3, которые, в свою очередь, соединены с трехпарным коромыслом 4 и выходным звеном 7; шатуны 5 и 6 установлены между звеньями 4 и 7. Все подвижные звенья механизма установлены на

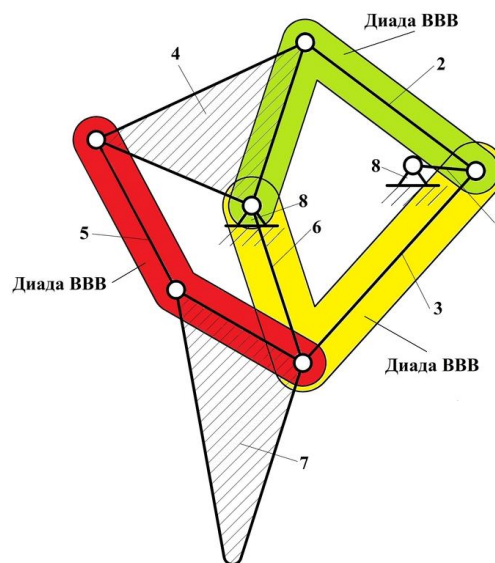


Рис. 1. Кинематическая схема механизма Янсена

* Работа выполнена в рамках стипендии Президента Российской Федерации (код проекта СП-3755.2016.1).

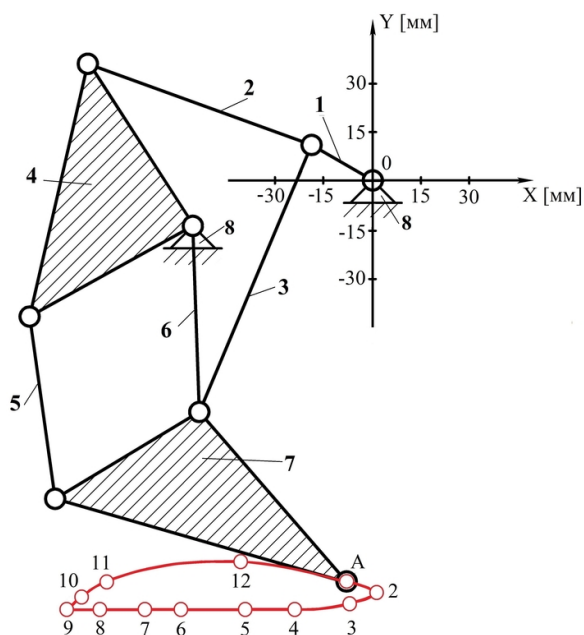


Рис. 2. Траектория движения выходного звена механизма Янсена (обозначения звеньев те же, что и на рис. 1)

неподвижном звене-стойке 8. Все звенья механизма соединяются между собой одноподвижными кинематическими парами пятого класса. В соответствии с формулой П.Л. Чебышева [12, 13] $W = 3n - 2p_5 - p_4$, (где W – подвижность механизма; n – количество подвижных звеньев; p – количество неподвижных пар). Подвижность W механизма при $n = 7$ и $p_5 = 10$ составляет 1. Такой результат гарантирует определенность движения всех звеньев системы при единственном входном движении.

Структурно механизм включает в свой состав ведущее звено, кривошип ($W = 1$) и три группы Ассура, выполненные в виде диад BBB , образованных звеньями 2 – 4, 3 – 6 и 5 – 7, для них $W = 0$. На схеме механизма (рис. 1) выделены указанные группы звеньев нулевой по-

движности. Таким образом, подвижность всего механизма может быть также определена путем сложения подвижностей всех кинематических цепей, входящих в состав механизма, и подвижности ведущего звена.

Анализ траектории движения выходного звена механизма

Обратимся к нахождению траектории движения выходного звена 7 механизма. Определим все положения точки A за полный поворот кривошипа 1. На рис. 2 показана траектория движения этой точки, построенная по 12 положениям, координаты которых приведены в таблице. Полученная траектория представляет собой плоскую кривую, в которой с 4 по 9 положения вертикальная координата y неизменна, то есть в этой области траектория представляет собой прямую линию. В положениях 3 и 10 есть незначительные вертикальные смещения. Это доказывает целесообразность применения этого механизма для создания шагающих систем. При изменении длин звеньев механизма могут быть уменьшены или увеличены как вертикальное, так и горизонтальное смещения выходного звена 7.

Выводы. В результате проведенного структурного анализа механизма Янсена были определены группы Ассура, входящие в его состав, а также общая подвижность механизма. Определена траектория движения выходного звена механизма, позволяющая определить его максимальные горизонтальное и вертикальное смещения. Полученные данные могут быть использованы при решении дальнейших задач кинематического и динамического анализа, а также при расчетах по оптимизации перемещения выходного звена механизма.

Координаты точки A выходного звена 7 механизма

Положение точки A	Координата, мм	
	x	y
1	-8,15	-124,53
2	1,00	-127,89
3	-7,00	-131,38
4	-24,26	-133,31
5	-39,76	-133,31
6	-59,74	-133,31
7	-70,91	-133,31
8	-85,13	-133,31
9	-95,43	-133,31
10	-93,25	-131,38
11	-82,93	-124,53
12	-41,04	-118,29

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rosheim M.E. In the footsteps of Leonardo // IEEE Robotics and Automation Magazine. 1997. Vol. 4. No. 2. P. 12 – 14.
2. M.H. Raibert. Legged robots // Communications of the ACM. 1986. Vol. 29(6). P. 499 – 514.
3. Song S.M., Waldron K.J. The machine that walk: the adaptive suspension vehicle. – MIT, Cambridge. 2003. – 327 p.
4. US Patent No. 491927. L.A. Rygg // Mechanical horse. 14.02.1893.
5. Uicker J.J., Pennock G.R., Shigley J.E. Theory of Machines and Mechanisms, 4th ed. – Oxford University Press, 2011. – 928 p.
6. Kar D.C. Design of statically stable walking robot: a review // Journal of Field Robotics. 2003. Vol. 20. P. 671 – 686.
7. Hirose S., Kato K. Study on quadruped walking robot in Tokyo institute of technology - past, present and future. – In book: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2000. P. 414 – 419.
8. Hirose S. Super mechano-system: new perspective for versatile robotic system. Experimental robotics. VII. Editors: D. Rus, S. Singh. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2001. P. 249 – 258.
9. Komoda K., Wagatsuma H. A study of availability and extensibility of Theo Jansen mechanism toward climbing over bumps. – In book: The 21st Annual Conference of the Japanese Neural Network Society, 2011. P. 3 – 28.
10. Kim H.G., Jung M.S., Shin J.K. Optimal design of Klann-linkage based walking mechanism for amphibious locomotion on water and ground // Journal of Institute of Control, Robotics and Systems. 2014. Vol. 20. Issue 9. P. 936 – 941.
11. Ghassaei A. The Design and Optimization of a Crank-Based Leg Mechanism. – PhD Thesis. 20 April 2011. 2011. – 168 p.
12. Дворников Л.Т. Основы всеобщей (универсальной) классификации механизмов // Теория механизмов и машин. 2011. Т. 9. № 2. С. 18 – 29.
13. Дворников Л.Т., Фомин А.С. Определение семейства механизмов по числу подвижных звеньев и кинематических пар. – В кн.: Машиностроение. Вып. 20. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2010. С. 52 – 59.

© 2017 г. А.С. Фомин, С.В. Киселев,
А.В. Олексенко

Поступила 17 ноября 2017 г.