

## Об управлении роботом-шаром при помощи двух омни-колес

А.П. Иванов

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Робот-шар представляет собой сферический корпус, внутри которого располагаются движущиеся массы, обеспечивающие качение корпуса. Исследования такой системы восходят к концу 19-го века: Бобылевым [1] и Жуковским [2] было показано, что динамика шара на абсолютно шероховатой плоскости, несущего гироскоп, отличается от динамики шара без гироскопа. Примерно в то же время в США было зарегистрировано несколько изобретений, формула которых включает активное движение шара под действием перемещения внутренних масс за счет упругой энергии пружин или мускульной силы пассажира (см. обзор [3]).

Общий недостаток перечисленных механизмов управления – их значительный объем. В настоящее время появляются проекты применения робота-шара для транспортировки грузов и пассажиров в экстремальных условиях бездорожья или агрессивной внешней среды. В связи с этим требуется наличие внутри шара значительного пространства, свободного от попадания в него устройств управления. Кроме того, устройствам первого типа свойственна недостаточная управляемость и ограничения на скорость перемещения. В устройствах второго типа отмечается малая эффективность привода: ряд опытных образцов даже не смогли сдвинуться с места из-за трения качения. Механизмы третьего типа пока кажутся экзотикой.

В данной работе предлагается новый тип управления роботом-шаром, свободный от вышеупомянутых недостатков. Внутри внешнего корпуса располагается сферическая оболочка несколько меньшего радиуса, отделенная от корпуса подшипниками 3 (рис. 1,а).

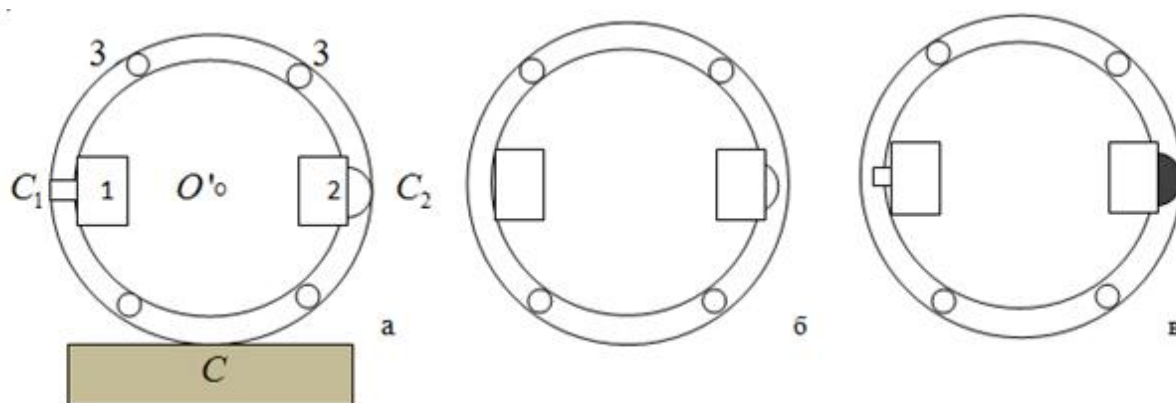


Рис. 1. Модель робота-шара.

На оболочке закрепляется система управления движением, а также перевозимый груз. Относительное движение корпуса и оболочки обеспечивается при помощи двух диаметрально противоположных омни-колес, касающихся корпуса в точках  $C_1$  и  $C_2$ , оси которых перпендикулярны диаметру сферы и друг другу. Как известно, такие колеса могут передавать усилие двигателя в направлении, ортогональном оси вращения, но не препятствуют движению вдоль оси [4, 5]. Управление колесами осуществляется за счет двух приводов (блоки 1 и 2). Конструктивно вместо сферической оболочки можно использовать более простую стержневую конструкцию, например, в форме куба. В этом случае колеса располагаются в двух вершинах, а в остальные вершины помещаются подшипники. Система имеет несколько режимов движения:

- 1) двигатели вращают колеса, при этом оболочке и корпусу сообщаются противоположные моменты, приводящие корпус в движение в соответствии с теоремами динамики (рис. 1,а);
- 2) двигатели отключены, система движется по инерции (рис. 1,б);
- 3) при блокировке колес, закрепленных на оболочке и катящихся по корпусу, происходит резкое торможение оболочки, и весь ее кинетический момент импульсивно передается корпусу (рис. 1,в).

В данной работе обсуждается динамика уравновешенного тела сферической формы на шероховатой плоскости, управляемого при помощи движения встроенной оболочки. Последняя приводится в движение относительно корпуса за счет вращения двух омни-колес, расположенных на концах диаметра и имеющих перпендикулярные оси вращения. Записаны уравнения движения, предложено управление движением корпуса, рассмотрено движение с одним включенным двигателем, рассмотрено пропорциональное управление и разгон по прямой. Показано, что шар можно переместить в любую точку плоскости по прямолинейной или (в случае начального вырождения) ломаной траектории. Показано, что для управления положением центра шара  $O'$  достаточно пары приводов с омни-колесами, оси которых взаимно перпендикулярны. Для перевода этой точки из одного положения в другое в невырожденном случае (т.е. ось крепления колес не горизонтальна) достаточно одного прямолинейного отрезка. Если в начальном положении эта ось горизонтальна, то ее положение можно вначале «подправить» за счет работы одного из моторов. В итоге путь может состоять из двух прямолинейных отрезков.

Работа выполнена при поддержке Правительства Российской Федерации в рамках выполнения базовой части государственного задания в сфере научной деятельности за №2583.

### Литература

1. *Бобылев Д.К.* О шаре с гироскопом внутри, катящемся по горизонтальной плоскости без скольжения // Матем. сб. — 1892. — Т. 16, вып. 3, — С. 544-581.
2. *Жуковский Н.Е.* О гироскопическом шаре Д.К. Бобылева // Собр. соч.: т. 1 / Н.Е. Жуковский. М.–Л.: Гостехиздат. — 1948. — С. 275–289.
3. *Ylikorpi T., Suomela J.* Ball shaped robots, climbing and walking robots, towards new applications // Ed. Houxiang Zhang. Vienna: Itech Education and Publishing, 2007, 546 с.
4. *A.A. Kilin, Yu. L. Karavaev, A.V.Klekovkin.* The kinematic control model for a highly maneuverable mobile spherical robot with an internal omniwheel platform // Nonlinear Dynamics & Mobile Robotics. — 2014. — Vol. 2, №2. — С. 275–289.
5. *Wei-Hsi Chen, et al.* Design and implementation of an omnidirectional spherical robot Omnicron // The 2012 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, July 11-14, 2012, Taiwan.