

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТЕЙШЕЙ МОДЕЛИ ДВУНОГОЙ ХОДЬБЫ

С.А. Юдаев

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) (СГАУ), Самара, Россия

В данной работе исследуется двумерная модель двуногого робота, передвигающегося благодаря силе инерции по поверхностям с малым наклоном. Уравнения, описывающие перемещение робота, включающие в себя три параметра – наклон поверхности, длина и масса ног, сходны с уравнениями спаренных маятников, соединенных шарниром. Методами качественного и численного анализа найдены условия, при которых конструкция может осуществлять устойчивое движение по наклонной поверхности.

Ключевые слова: моделирование, бифуркация, устойчивость, шагающий робот.

Ходьба как основной способ локомоции человека является сложным процессом, зависящим от множества составных факторов. Контролируемая нервной системой, ходьба осуществляется в результате сложной координированной деятельности скелетных мышц и конечностей. Таким образом, динамика ходьбы – предмет исследования нескольких дисциплин. Насколько же координация движения определяется чисто механическими факторами? Такой не простой процесс вполне может быть рассмотрен в виде частного случая – движения по наклонной поверхности.

Фундаментальная проблема инертной ходьбы – получение устойчивости в модели. С помощью численного исследования показано, что конструкция может осуществлять устойчивое движение по наклонной поверхности, при условии, что к нему применены подходящие начальные условия.

Конструкция состоит из двух жестких балок, соединённых шарниром. Каждая из ног обладает центром масс, масса же переносимого тела расположена в районе бедра. Так же, для большей простоты, ноги лишены коленей, а стопы рассматриваются как точка. Стопы взаимодействуют с наклонной поверхностью без трения, без скольжения. На рисунке 1 обозначены углы опорной и маховой ноги соответственно θ_{st}, θ_{sw} , массы M, m .

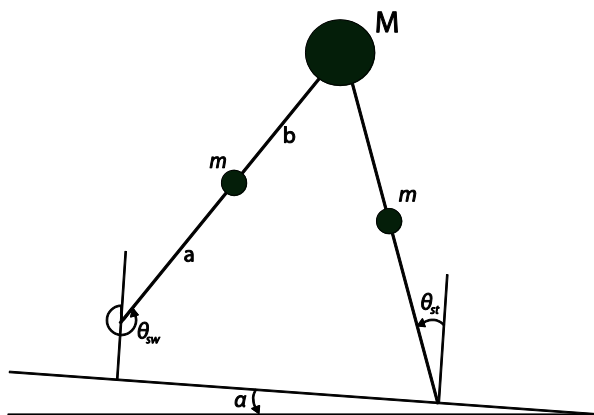


Рис. 1. Модель простейшего двуногого робота

Уравнения движения хорошо известны [1]. В настоящей работе введены новые обозначения $a/l = \mu, b/l = 1 - \mu, m/M = \beta$, чтобы уменьшить количество параметров системы.

Передвижение рассматривается строго в сагиттальной плоскости, это означает, что конструкция лишена возможности отклониться вправо или влево. Шаговый цикл разделен на фазу опоры и фазу переноса ноги. Опорная нога остается на земле, до тех пор, пока другая не достигнет поверхности. Таким образом, во время движения только одна нога касается земли в любой момент времени. По завершении шагового цикла, ноги переименовываются – опорная нога становится маховой и наоборот. Момент соприкосновения обеих ног с поверхностью присутствует, но мы сочтем его мгновенным.

Одним из ключевых моментов при моделировании является определение момента переключения ног. В связи с тем, что ноги робота одинаковой длины, момент соприкосновения с поверхностью и перехода к следующему шаговому циклу не может быть найден однозначно. Соприкосновение неизбежно произойдет как по окончании шагового цикла, так и при прохождении маховой ноги вертикали. В конструкции не предусмотрен механизм, исключаящий «ложное» соприкосновение. Потому, в симуляции будем рассматривать полностью упругое столкновение маховой ноги с поверхностью, исключим проскальзывание и добавим условие, по которому дистанция между маховой ногой и поверхностью в момент прохождения вертикали будет равна нулю.

В работе исследованы как линеаризованная, так и исходная системы. Численное исследование включает в себя построение фазовых портретов, временных разверток при варьировании параметров модели. Аналитическое решение получено с помощью асимптотического приближения, аналогично тому, как это сделано для упрощенной модели [2]. Полученные результаты будут полезны при изучении нелинейных моделей.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 14-01-97018_p.

Литература

1. Shah, N., Yeolekar, M. Influence of Slope Angle on the Walking of Passive Dynamic Biped Robot / N. Shan, M. Yeolekar // Applied Mathematics. – 2015. – Vol. 6, No. 3. – P. 456–465.
2. Garcia, M., Chatterjee, A., Ruina, A., Coleman M.J. The Simplest Walking Model: Stability, Complexity, and Scaling / M. Garcia, A. Chatterjee, A. Ruina, M.J. Coleman // ASME Journal of Biomechanical Engineering. – 1998. – Vol. 120, No. 2. – P. 281–228.