

УДК 531.384

Движение тела с произвольным набором внутренних подвижных масс на шероховатой плоскости

А.В. Сахаров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

Рассматривается мобильное устройство, состоящее из полого твердого тела и материальных точек, перемещающихся внутри тела по определенным законам. Устройство опирается на горизонтальную шероховатую поверхность плоским прямоугольным основанием. Движение тела по плоскости достигается за счет перемещения внутренних материальных точек [1–3].

Определение уравнений движения твердого тела на плоскости неизбежно приводит к необходимости принятия дополнительных гипотез о распределении напряжений в области контакта: как тангенциальных, направленных по касательной к основанию корпуса, так и нормальных, направленных перпендикулярно основанию. В качестве модели тангенциальных напряжений в точках контакта использовался локальный закон Амонтона--Кулона, зарекомендовавший себя как наиболее простой и проверенный в огромном количестве экспериментов. Динамически согласованная модель распределения нормальных напряжений должна включать в себя три независимых параметра, определяемых в каждый момент времени из условий неразрывности контакта корпуса и плоскости [4–5]. Получена система уравнений движения устройства и условия его равновесия на плоскости.

Приведено два примера конфигураций внутренних масс, которые, при определенных законах их относительных движений, позволяют привести тело как к поступательному движению, так и к вращательному. Продольное передвижение тела предлагается осуществлять с помощью периодического перемещения материальной точки вдоль продольной оси симметрии устройства. Для осуществления поворота предлагается расположить в полости однородный диск, центр которого совпадает с центром тела, ориентируя его при этом двумя способами (в горизонтальной и вертикальной плоскости).

Для обоих случаев расположения диска уравнения движения были численно проинтегрированы, полученные траектории проанализированы в зависимости от периода движения внутренних масс. На основании проведенного анализа предложен алгоритм управления диском и точечной массой, позволяющий провести устройство по S-образной траектории. Произведено сравнение эффективности поворотов корпуса при различных ориентациях диска.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (14-01-00432) в рамках выполнения базовой части государственного задания в сфере научной деятельности за № 2014/120 <<Исследование закономерностей динамики систем с трением и разработка мобильных роботов без внешних движителей>> (НИР №2583).

#### Литература

1. *Иванов А.П., Сахаров А.В.* Динамика твердого тела с подвижными внутренними массами и ротором на шероховатой плоскости // *Нелинейная динамика.* – 2012. – Т. 8, № 2. – С. 763–772.
2. *Сахаров А.В.* Поворот тела с двумя подвижными внутренними массами на шероховатой плоскости // *ПММ.* – 2015. – Т. 79, Вып. 2 – С. 196–209.
3. *Волкова Л.Ю., Яцун С.Ф.* Управление движением трехмассового робота, перемещающегося в жидкой среде // *Нелинейная динамика.* – 2011. – Т. 7, № 4. – С. 845–857. – 304 с.
4. *Иванов А.П.* Основы теории систем с трением. – М.–Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2011.
5. *Иванов А.П.* Динамически совместная модель контактных напряжений при плоском движении твердого тела // *ПММ.* – 2009. – Т. 73, Вып. 2. – С. 189–203.