

Широко изучаются мобильные системы, перемещающиеся за счет движения внутренних масс [1-2]. В данной работе исследуется робот-слайдер (РС) с массивными движителями-эксцентриками (рис. 1). В работе представлены результаты численного интегрирования уравнений движения математической модели (рис. 2а) и сопоставлены с экспериментальными данными, полученными с помощью трекинга (рис. 2б).

РС осуществляет движение в плоскости с сухим трением. Движители-эксцентрики вращаются в переменной угловой скоростью, преобразуя вращательное движение в неравномерное поступательное. Движение происходит малыми шажками-скольжениями.

Уравнения движения РС выводятся в предположении убывающей линейной зависимости вращающего момента электродвигателя от угловой скорости:

$$M = M_0 - k|\omega|, \quad M_0, k = \text{const}, \quad M_0, k > 0.$$

Уравнение движения платформы:

$$(m + m_1)\dot{v} + am_1(\ddot{\varphi} \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 \sin \varphi) = -\mu N \frac{v}{|v|}, \quad (1)$$

$$N = (m + m_1)g + m_1a(\ddot{\varphi} \sin \varphi + \dot{\varphi}^2 \cos \varphi).$$

Уравнение движения маятника:

$$m_1a^2\ddot{\varphi} + m_1a\dot{v} \cos \varphi = M_0 - k|\dot{\varphi}| - m_1ag \sin \varphi. \quad (2)$$

Эта система представляется в виде (если $v \neq 0$):

$$\Delta = mm_1a^2 + a^2m_1^2 \sin^2 \varphi - \mu a^2m_1^2 \sin \varphi \cos \varphi \frac{v}{|v|},$$

$$\Delta_1 = \left(-\mu(m + m_1)g \frac{v}{|v|} + am_1\dot{\varphi}^2 \left(\sin \varphi - \mu \cos \varphi \frac{v}{|v|} \right) \right) m_1a^2 -$$

$$-am_1 \left(\cos \varphi + \mu \sin \varphi \frac{v}{|v|} \right) (M_0 - k|\dot{\varphi}| - m_1ag \sin \varphi),$$

$$\Delta_2 = (m + m_1)(M_0 - k|\dot{\varphi}| - m_1ag \sin \varphi) -$$

$$-\left(-\mu(m + m_1)g \frac{v}{|v|} + am_1\dot{\varphi}^2 \left(\sin \varphi - \mu \cos \varphi \frac{v}{|v|} \right) \right) m_1a \cos \varphi,$$

$$\dot{v} = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad \ddot{\varphi} = \frac{\Delta_2}{\Delta}.$$

Далее система уравнений (с учетом также случая $\nu=0$) решается численным интегрированием в MatLab.

Трекинг меток, нанесенных на РС, производился с помощью программы покадровой обработки видео Adobe After Effects.

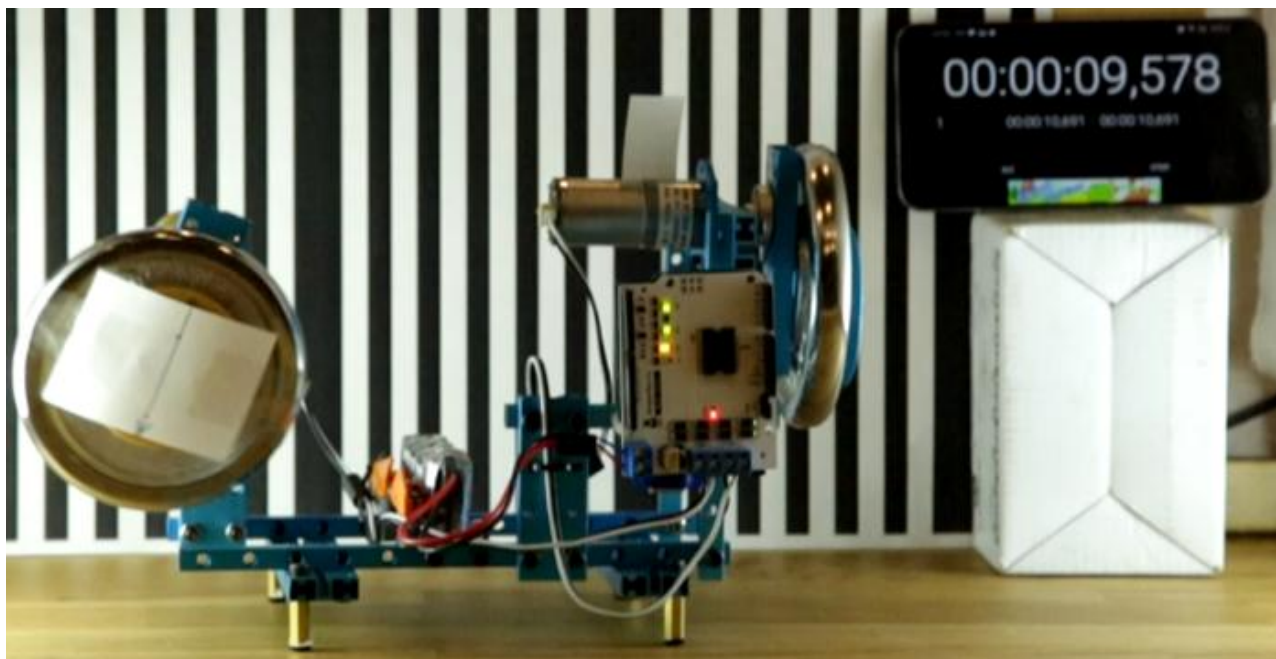


Рис. 1. Общий вид робота-слайдера в процессе движения.

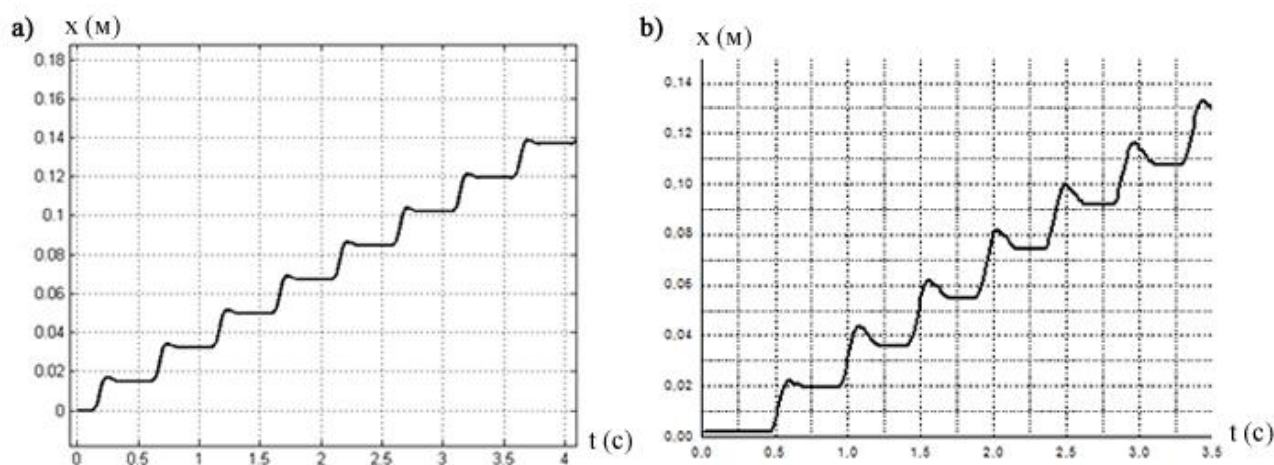


Рис. 2. Графики зависимости перемещения РС от времени, полученные: а) численным интегрированием в MatLab; б) с помощью трекинга в программе Adobe After Effects.

Литература

1. Черноусько Ф.Л., Болотник Н.Н. Мобильные роботы, управляемые движением внутренних тел // Тр. ИММ УрО РАН. — 2010. — Т. 16, №5, — С. 213–222.
2. Иванов А.П., Сахаров А.В. Динамика твердого тела с подвижными внутренними массами и ротором на шероховатой плоскости // Нелинейная динамика. — 2012. — Т. 8, № 4, — С. 763-772.