

КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ ГУСЕНИЧНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

Гурин И.В.

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Ключевые слова: робототехника, робот-сапер, гусеничная ходовая часть, кинематика, математическая модель.

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос математического описания движения гусеничной роботизированной платформы. Математическая модель движения включает уравнения динамики плоскопараллельного движения робота, уравнения прямолинейного движения робота, а также уравнения движения робота в неподвижных координатах, в заключении проводится моделирование движения робота и определяется траектория его движения.

MOTION KINEMATICS OF A TRACKED ROBOT PLATFORM

Gurin I.V.

Don State Technical University, Rostov-on-Don

Keywords: robotics, robot-sapper, tracked undercarriage, kinematics, mathematical model.

Abstract. This paper considers the issue of mathematical description of the motion of a tracked robotic platform. The mathematical model of motion includes the equations of dynamics of plane-parallel motion of the robot, the equations of rectilinear motion of the robot, and the equations of motion of the robot in stationary coordinates, in the conclusion the simulation of the robot motion and determination of the trajectory of its motion.

Автономные мобильные гусеничные машины и роботы находят широкое применение в различных областях, как промышленной, так и непромышленной сферах [1]. Для решения задачи автономного управления движением робота-сапера необходима разработка системы управления. Первым этапом такой системы является разработка математической модели движения гусеничного робота.

Уравнения динамики плоскопараллельного движения робота:

$$m(\dot{V}_x + v\omega) = \Sigma F_x;$$

$$m(V_x - \dot{v}) = \Sigma F_y;$$

$$j_z \dot{\omega} = \Sigma M_z,$$

где m – масса робота-сапера; V_x , \dot{V}_x – скорость и ускорение РТК в направлении продольной оси OX ; v , \dot{v} – боковая скорость и ускорение центра масс робота-сапера; ω , $\dot{\omega}$ – угловая скорость и ускорение центра масс относительно вертикальной оси OZ ; j_z – момент инерции робота относительно вертикальной оси OZ , проходящей через центр масс; ΣF_x , ΣF_y – суммы проекций на подвижные координатные оси всех внешних сил, действующих на робота-сапера со стороны дороги; ΣM_z – сумма моментов внешних сил, действующих на робота-сапера со стороны дороги, относительно вертикальной оси OZ .

Данная модель динамики является достаточно общей, поскольку она описывает как прямолинейное движение при подъеме и спуске, так и режим поворота робота.

Например, полагая $v=0, \sum F_y, \sum M_x=0$, получаем уравнение прямолинейного движения робота-сапёра:

$$m\ddot{x} = P - G(\sin \gamma + f \cos \gamma)$$

где \ddot{x} – ускорение центра масс робота-сапёра; P – сила тяги; G – сила тяжести; γ – угол подъёма (спуска); f – коэффициент сопротивления качению.

Уравнения динамики плоскопараллельного движения робота дополним уравнениями кинематики, в которых будут присутствовать слагаемые, учитывающие явление буксования гусениц обоих бортов робота:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V \cos \alpha - v \sin \alpha - \frac{\cos \alpha}{2}(V_n + V_l); \\ \dot{y} &= V \sin \alpha - v \cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{2}(V_n + V_l); \\ \dot{\alpha} &= \omega + \frac{1}{2h}(V_n - V_l), \end{aligned}$$

где \dot{x}, \dot{y} – скорость центра масс робота-сапёра; α – угол между продольной осью робота-сапёра и выбранной осью неподвижной системы координат; V_n, V_l – скорость буксования левой и правой гусеницы.

Поворот гусеничных платформ осуществляется с помощью неравномерного поворота. Характер неравномерного поворота зависит от следующих факторов: внешних сил сопротивления движению, сил тяг на гусеницах, веса робота-сапёра и момента инерции робота-сапёра относительно вертикальной оси. Рассмотрим случай неравномерного поворота робота-сапёра на горизонтальном участке местности. При этом должна решаться задача управления движением наземного робота в неопределенных средах с обходом препятствий определенного класса [2].

Уравнения движения робота-сапёра в неподвижных координатах в соответствии со схемой будут иметь следующих вид:

$$\sum X = -m\ddot{x} + (P_2 - P_1 - R_2 - R_1) \cos \alpha + S_T \sin \varphi = 0;$$

$$\sum Y = -m\ddot{y} + (P_2 - P_1 - R_2 - R_1) \sin \alpha + S_T \cos \varphi = 0;$$

$$\sum M = -I\ddot{\varphi} - M_c + (P_2 - P_1 - R_2 - R_1) \frac{B}{2} = 0,$$

где $m\ddot{x}$ – проекция силы инерции на ось x ; $m\ddot{y}$ – проекция силы инерции на ось y ; P_1 – сила торможения отстающей гусеницы; P_2 – сила тяги забегающей гусеницы; R_1 – сопротивление поступательному движению отстающей гусеницы; R_2 – сопротивление поступательному движению забегающей гусеницы; S_T – результирующая поперечная сила; M_c – момент сопротивления повороту; B – расстояние между центрами гусениц.

Полученная математическая модель модуля движения использована при синтезе системы управления [3]. Проведем моделирование движения робота и определим траекторию (рис. 1, 2).

Как видно из графиков, величина продольного проскальзывания нелинейно зависит от радиуса кривизны криволинейной траектории. Характерной является точка, обозначенная на рисунке 2, где $R = 0,18$ м, а $t = 1,18$ с. В данном случае скорость второго опорного катка робота, являющегося ведомым во внешней гусеничной паре, становится равной нулю. По сути, в этот момент времени робот начинает вращаться относительно этого катка. После этого момента, когда

$R > 0,18$ м, скорость всех катков имеет вид возрастающей прямой, так как радиус кривизны линейно изменяется во времени.

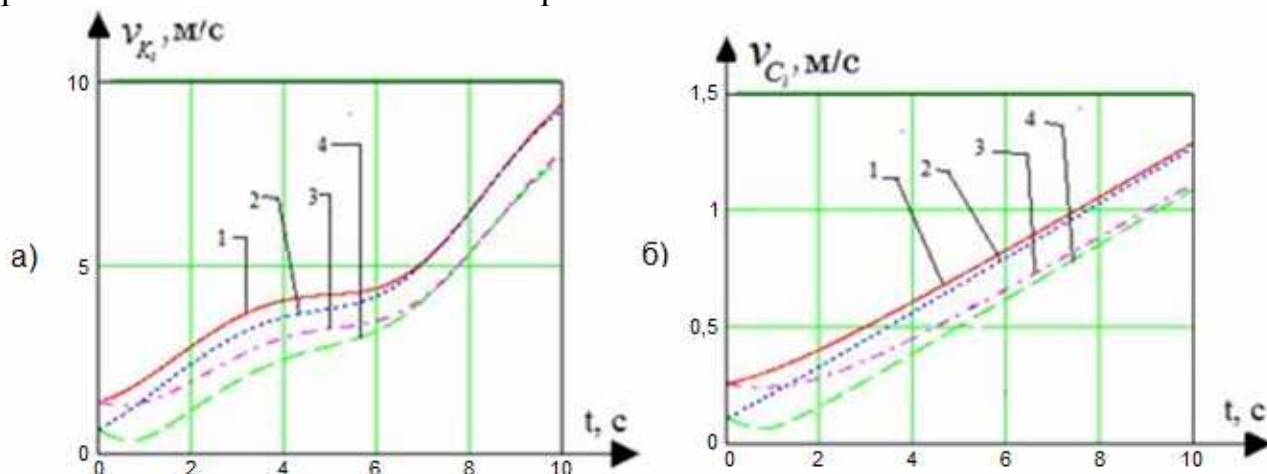


Рис. 1. Временные диаграммы параметров движения робота по окружности: 1, 2 – скорости катков забегающей гусеницы; 3, 4 – скорости катков отстающей гусеницы; а – зависимость скорости точек контакта робота с поверхностью от времени; б – зависимость скорости точек центров катков робота от времени

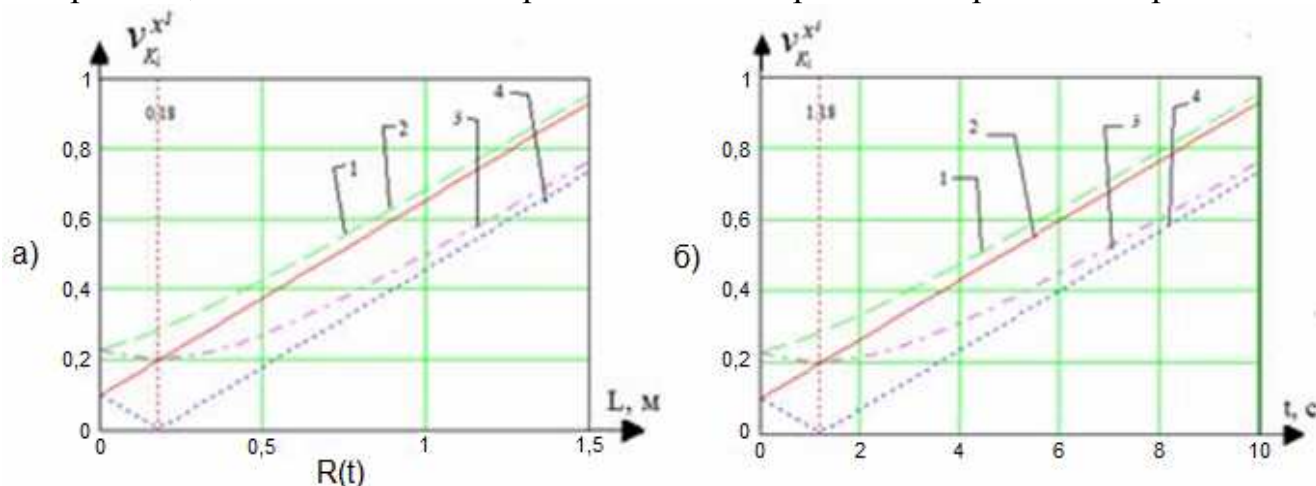


Рис. 2. Зависимость проскальзывания от радиуса кривизны: 1, 2 – скорости катков забегающей гусеницы; 3, 4 – скорости катков отстающей гусеницы

Список литературы

1. Глебов Н.А., Амин Н.М. Управление автономными мобильными гусеничными машинами и роботами в неформализованной среде // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2015. – №3 (184). – С. 17-21.
2. Пшихопов В.Х., Али А.С. Обход локальных минимумов функции ошибки при движении робота в неопределенной среде // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2011. – №6. – С. 26-31.
3. Глебов Н.А., Маркиянов А.А., Притчин С.Б. Интерактивное управление гусеничными мобильными роботами с использованием лазерных каналов связи // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2013. – №2 (171). – С. 23-27.

Сведения об авторах:

Гурин Илья Васильевич – магистр.