

## КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

*Гурин И.В.*

*Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону*

**Ключевые слова:** робототехника, колесный робот, сельскохозяйственный робототехнический комплекс, математическая модель.

**Аннотация.** В данной статье рассматривается вопрос математического описания движения четырехколесной сельскохозяйственной робототехнической платформы. Приводится математическая модель кинематики движения, приведены уравнения движения робота с учетом динамических свойств, а также было проведено моделирование движения робота и определяется траектория его движения по рассчитанной математической модели.

## MOTION KINEMATICS OF A FOUR-WHEELED AGRICULTURAL ROBOTIC PLATFORM

*Gurin I. V.*

*Don State Technical University, Rostov-on-Don*

**Keywords:** robotics, wheeled robot, agricultural robotics, mathematical model.

**Abstract.** In the present article the question of mathematical description of the motion of a four-wheeled agricultural robotic platform is considered. The mathematical model of the kinematics of motion is given, the equations of motion of the robot, taking into account the dynamic properties, and also the simulation of the robot motion was carried out and the trajectory of its motion on the calculated mathematical model is determined.

В современном мире мобильные роботы применяются во многих областях деятельности человека. Для решения задачи оптимизации и тестирования алгоритмов управления принято использовать метод математического моделирования [1]. Математическим моделям посвящено большое количество работ разной степени сложности [2-3].

Для решения задачи автономного движения сельскохозяйственного робототехнического комплекса необходимо разработать систему управления. Первым этапом разработки любой системы управления является построение математической модели движения.

В качестве объекта управления воспользуемся классической компоновкой четырехколесного робототехнического комплекса (РТК) с независимыми приводами.

Пусть колесный РТК движется по плоской наклонной плоскости. При этом целью управления является обеспечение движения без проскальзывания колес и сползание с траектории движения. Задача робота перемещается по прямой под углом  $\phi$ , к оси  $O_1x_1$ , которая принадлежит системе координат  $O_1x_1y_1$ , повернутая на угол  $\theta$  относительно оси  $O_1x_1$ . Оси  $O_1x_1$  и  $O_x$  совпадают, где  $O_x$  принадлежит системе координат  $O_{xyz}$ . Плоскость  $O_{xy}$  совпадает с горизонтальной плоскостью среды. С роботом жестко связана подвижная система координат  $O_2x_2y_2$  с

началом в точке  $O_2$ , расположенной в центре масс платформы. Расстояние от центра масс платформы до центра масс каждого колеса равны и соответствуют константам  $l_{x2}$  и  $l_{y2}$ . На рисунке 1 изображена колесная модель робота с соответствующими системами координат.

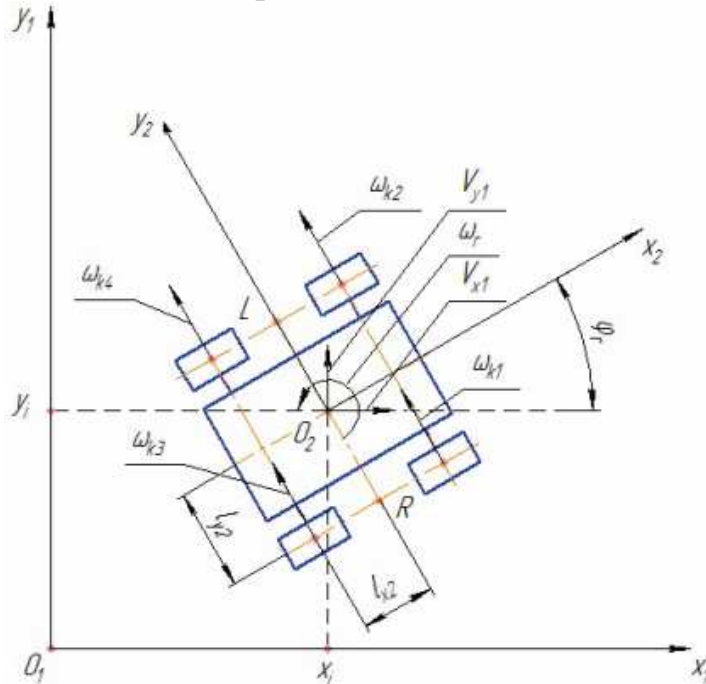


Рис. 1. Модель четырехколесного сельскохозяйственного РТК

Положение платформы робота как твердого тела в системе координат  $O_2x_2y_2$  задается тройкой чисел  $x_r, y_r, \phi_r$ , где  $\phi_r$  – угол между осью  $x_2$  и осью  $x_1$  наклонной системы координат;  $x_r, y_r$  – декартовы координаты точки  $O_2$  в системе координат  $O_2x_2y_2$ . Так же состояние колес задаются числами  $\phi_{k1}, \phi_{k2}, \phi_{k3}, \phi_{k4}$  – углы поворота вокруг своих осей.

Кинематическая модель в принятых обозначениях будет иметь вид:

$$\begin{cases} \omega_{k1} = \dot{\phi}_{k1}; \\ \omega_{k2} = \dot{\phi}_{k2}; \\ \omega_{k3} = \dot{\phi}_{k3}; \\ \omega_{k4} = \dot{\phi}_{k4}; \\ V_{x1}^r = \dot{x}_v; \\ V_{y1}^r = \dot{y}_v; \\ \omega_r = \dot{\phi}_r, \end{cases}$$

где  $\omega_{k1}, \omega_{k2}, \omega_{k3}, \omega_{k4}$  – угловая скорость вращения колес вокруг своей оси;  $V_{x1}^r$  и  $V_{y1}^r$  линейные скорости движения РТК вдоль осей  $x_1$  и  $y_1$  соответственно;  $\omega_r$  – угловая скорость сельскохозяйственного РТК.

Приведем теперь уравнение движения РТК с учетом динамических свойств робота, а также исполнительной системы. Будем считать, что исполнительная система РТК представляет собой четыре привода на базе двигателя постоянного

тока, каждый из которых независимо приводит в движение ведущие колеса правого и левого бортов платформы. Сделаем допущение, что масса колес равны, их соответствующие геометрические размеры также равны. Будем считать, что колеса не деформируются. Центра масс всех составляющих РТК лежат в одной плоскости. Масса робота распределена симметрично относительно осей  $O_2x_2$  и  $O_2y_2$ .

Математическую модель колес РТК имеет вид:

$$\begin{cases} \ddot{\varphi}_{k1} \frac{m_k \cdot r_k}{2} = T_{dk1} + (F_{ТПК}^{x2} - F_{ТКК1} - p_{x1y1}^{x2}) \cdot r_k; \\ \ddot{\varphi}_{k2} \frac{m_k \cdot r_k}{2} = T_{dk2} + (F_{ТПК}^{x2} - F_{ТКК2} - p_{x1y1}^{x2}) \cdot r_k; \\ \ddot{\varphi}_{k3} \frac{m_k \cdot r_k}{2} = T_{dk3} + (F_{ТПК}^{x2} - F_{ТКК3} - p_{x1y1}^{x2}) \cdot r_k; \\ \ddot{\varphi}_{k4} \frac{m_k \cdot r_k}{2} = T_{dk4} + (F_{ТПК}^{x2} - F_{ТКК4} - p_{x1y1}^{x2}) \cdot r_k, \end{cases}$$

где  $\varphi_{k1}, \varphi_{k2}, \varphi_{k3}, \varphi_{k4}$  – угловые ускорения колес каждого колеса соответственно;  $m_k$  – масса колеса;  $r_k$  – радиус колеса;  $T_{dk1}, T_{dk2}, T_{dk3}, T_{dk4}$  – момент, развиваемый на каждом колесе соответственно;  $F_{ТПК}^{x2}$  – проекция силы трения покоя колеса на ось  $O_2x_2$ ;  $F_{ТКК1}, F_{ТКК2}, F_{ТКК3}, F_{ТКК4}$  – сила трения качения колеса;  $p_{x1y1}^{x2}$  – проекция силы тяжести приходящееся на каждое колесо.

Проведем моделирование движения робота и определим изменение угла поворота (рис. 2) и его траекторию движения (рис. 3).

Согласно проведенному моделированию, можно сказать, что разработанная математическая модель сельскохозяйственного робота может быть использована в реальной системе управления сельскохозяйственным робототехническим комплексом.



Рис. 2. Изменение угла поворота сельскохозяйственного робототехнического комплекса

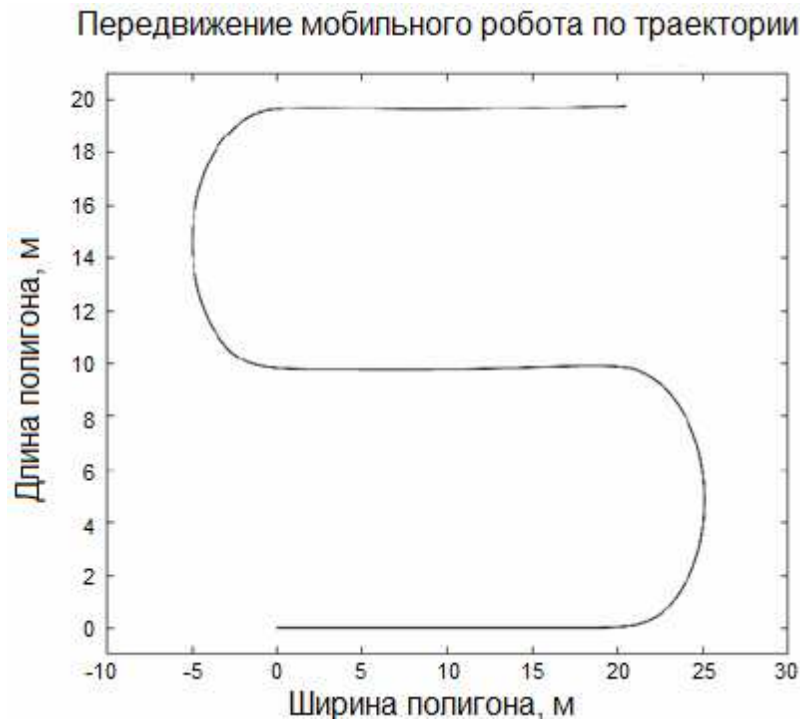


Рис. 3. Траектория сельскохозяйственного робототехнического комплекса, реализованного с помощью блока Algorithm

#### Список литературы

1. Мешковский Е.О., Курмашев А.Д. Построение математической модели четырёхколёсного мобильного робота с двумя дифференциальными приводными блоками // Инновации и инвестиции. – 2020. – №2. – С. 113-118.
2. Бартенев В.В., Яцун С.Ф., Аль-еззи А.С. Математическая модель движения мобильного робота с двумя независимыми ведущими колесами по горизонтальной плоскости // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – №4-1. – С. 288-293.
3. Бурдаков С.Ф., Мирошник И.В., Стельмаков Р.Э. Системы управления движением колесных роботов. – СПб: Наука, 2001. – 227 с.

#### Сведения об авторе:

*Гурин Илья Васильевич* – магистр.