



## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

MSC 70E18, 70E60

УПРОЩЕННЫЙ РАСЧЕТ КИНЕМАТИКИ ДВИЖЕНИЯ  
МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ТРЕМЯ ОМНИКОЛЕСАМИ

А.Н. Афонин, А.Ю. Алейников, Е.Н. Бондарева

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
ул. Победы, 85, Белгород, 308015, Россия, e-mail: [afonin@bsu.edu.ru](mailto:afonin@bsu.edu.ru)

**Аннотация.** Рассмотрена кинематика движения мобильного робота с тремя омниколесами, расположенными под углом  $120^\circ$ . Предложены упрощенные формулы для расчета скоростей вращения колес, обеспечивающие движение робота в заданном направлении с требуемой скоростью. Эти формулы могут использоваться при создании систем управления подобными роботами.

**Ключевые слова:** мобильный робот, омниколесо, движение, механика, кинематика, скорость, управление.

**Введение.** Среди множества возможных кинематических схем мобильных роботов существенный интерес представляет схема с тремя одинаковыми независимыми ведущими колёсами, расположенными под углом  $120^\circ$ . Важнейшим преимуществом робота с такой кинематической схемой является его маневренность: подобный робот может в любой момент начать движение в любую сторону. Для повышения маневренности такие роботы оснащаются колесами особой конструкции (например, так называемыми омниколесами [4, 5 и др.]), обеспечивающими трение качения с поверхностью по которой движется робот в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Управление роботом с тремя независимыми ведущими колесами осуществляется изменением скорости вращения колес. При этом, определение требуемой для движения робота в заданном направлении с требуемой скоростью частоты вращения каждого колеса представляет определенные трудности. Существующие математические модели кинематики и динамики движения подобных роботов, например [2 – 4], весьма сложны и использование их при разработке реальных систем управления роботами затруднительно.

**1. Постановка задачи.** Рассмотрим схему робота с тремя одинаковыми независимыми ведущими колёсами (рис. 1). Примем допущение, что сила трения между колесом и поверхностью не зависит от положения колеса относительно направления движения робота. Тогда, можно сделать вывод о том, что поступательное движение роботу целесообразно сообщать колесом, ось вращения которого образует наибольший угол с заданным направлением движения. Колесо, ось вращения которого образует наименьший



угол с заданным направлением движения, целесообразно остановить, т.к. вращение этого колеса будет слабо сказываться на поступательном движении робота, но будет приводить к вращению его вокруг собственной оси. Третье колесо, занимающее промежуточное положение, целесообразно использовать для подруливания робота с целью компенсировать составляющую скорости первого колеса, направленную перпендикулярно заданному направлению движения. Исходя из геометрических соображений, направление вращения подруливающего колеса должно быть противоположным направлению вращения ведущего. Скорость вращения подруливающего колеса будет ниже, чем ведущего, за исключением случая движения в направлении оси симметрии между ведущим и подруливающим колесом.

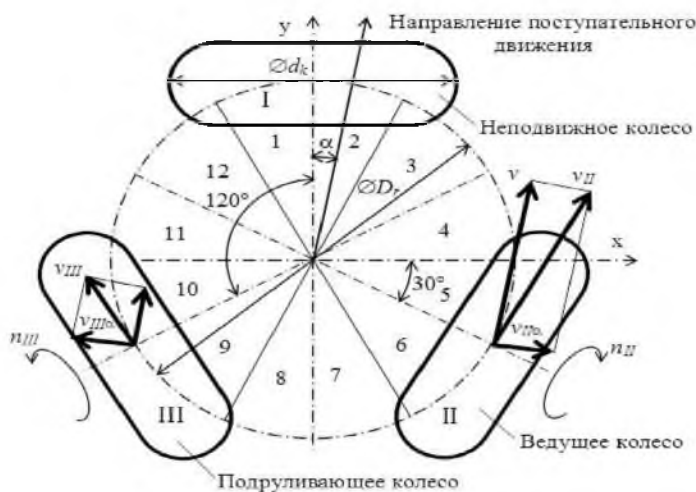


Рис. 1. Схема скоростей колес при движении робота в направлении зоны 2.

В зависимости от того, какие роли будут выполнять конкретные колеса, можно выделить 12 зон направления поступательного движения робота. При движении робота в направлении зон 1 и 7 на рис. 2 ведущим будет являться колесо III, а неподвижным колесо I; в направлении зон 2 и 8 ведущим будет являться колесо II, а неподвижным колесо I; в направлении зон 3 и 9 ведущим будет являться колесо II, а неподвижным колесо III; в направлении зон 4 и 10 ведущим будет являться колесо I, а неподвижным колесо III; в направлении зон 5 и 11 ведущим будет являться колесо I, а неподвижным колесо II; в направлении зон 6 и 12 ведущим будет являться колесо III, а неподвижным колесо II.

**2. Уравнения скоростей движения.** Рассмотрим в качестве примера движение робота в направлении зоны 2. Скорость вращения колеса, направленную по часовой стрелке если смотреть с внешней стороны, примем положительной. Влиянием на скорость поступательного движения робота проскальзывания подруливающего колеса пренебрежем. Тогда, зависимость касательной скорости ведущего колеса  $v_{II}$  от скорости движения робота  $v$  будет иметь вид



$$\nu_{II} = \frac{\nu}{\cos(60 - \alpha)}$$

Исходя из необходимости обеспечить условие  $\nu_{III\alpha} = -\nu_{III\alpha}$ , касательная скорость подруливающего колеса определится по формуле

$$\nu_{III} = \frac{\nu \cdot \sin(60 - \alpha)}{\cos(60 - \alpha) \cdot \cos(30 - \alpha)}$$

Скорости вращения ведущего и подруливающего колеса соответственно равны

$$n_{II} = \frac{1000 \cdot \nu_{II}}{\pi \cdot d_k}; n_{III} = \frac{1000 \cdot \nu_{III}}{\pi \cdot d_k},$$

где  $d_k$  – диаметр колес, мм.

Для других зон движения скорости вращения колес определяются аналогично.

**Выводы.** Полученные простейшие зависимости являются базовыми для управления движением робота с тремя одинаковыми независимыми ведущими омниколёсами и могут использоваться при создании систем управления подобными роботами.

У реального робота значительное влияние на скорость и направление движения будет оказывать изменение коэффициента трения с поверхностью в зависимости от положения колес относительно направления движения робота и скорости их вращения [1]. Оценить влияние изменения коэффициента трения нельзя не только с помощью приведенных выше простейших зависимостей, но и при использовании более сложных кинематических моделей, например приведенных в источниках [2-4]. В связи с этим, роботы с тремя независимыми ведущими колёсами должны оснащаться датчиками, определяющими скорость и направление их перемещения в пространстве (акселерометр, магнитный компас, гироскоп, приемник сигналов GPS и т.д.). На основании информации, получаемой от этих датчиков, система управления роботом будет вносить коррективы в определенные по приведенной выше методике скорости вращения ведущего колеса (для обеспечения требуемой скорости поступательного движения) и подруливающего колеса (для обеспечения требуемого направления движения и исключения неконтролируемого вращения робота вокруг своей вертикальной оси).

### Литература

1. Абрамов И.В., Караваев Ю.Л., Шелуха А.В. Оценка точности позиционирования омниколёсного робота // Психофизические и социально-психологические аспекты взаимодействия в системе «человек - машина»: Материалы всеросс. научно-практ. конф. – Ижевск: ИжГТУ, 2014. – С.92-96.
2. Борисов А.В., Килин А.А., Мамаев И.С. Тележка с омниколесами на плоскости и сфере // Нелинейная динамика. – 2011. – 7, № 4 (Мобильные роботы). – С.785-801.
3. Indiveri G. Swedish Wheeled Omnidirectional Mobile Robots: Kinematics Analysis and Control // IEEE transactions on robotics. – 2009. – 25, №1. – P.164-171.
4. Deepak B.B.V.L., Parhi1 D.R., Jha A.K. Kinematic Model of Wheeled Mobile Robots // International Journal on Recent Trends in Engineering & Technology. – 2011. – 5, №4. – P.5-10.
5. Patent US 1305535 A. Vehicle wheel / J. Grabowiecki. 1919.



6. Patent US 3789947 A. Omnidirectional wheel / J. Blumrich. 1974.

**SIMPLIFIED CALCULATION OF KINEMATICS  
OF MOBILE ROBOT WITH THREE OMNIDIRECTIONAL WHEELS**

**A.N. Afonin, A.Y. Aleynikov, E.N. Bondareva**

Belgorod National Research University,  
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia, e-mail: [afonin@bsu.edu.ru](mailto:afonin@bsu.edu.ru)

**Abstract.** Kinematics of mobile robot with three omni wheels which are arranged at an angle of  $120^\circ$  is under consideration. Simplified relationships for the calculation of the rotational speeds of the wheels are proposed that provide the robot movement along given direction with a desired speed. These formulas may be used to create control systems like robots.

**Key words:** mobile robot, omnidirectional wheel, motion, kinematics, speed, control.