

УДК 004.896

КОНТРОЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ АВТОНОМНОЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ОСНОВЕ УТОЧНЕННОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕКАНУМ-КОЛЕС

А. А. РАДКЕВИЧ

Научный руководитель С. А. ПАВЛЮКОВЕЦ, канд. техн. наук, доц.
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Для мобильных платформ с колесами меканум предложен ряд подходов, ориентированных на решение задач управления положением, обеспечивающих компенсацию внешних возмущений, параметрической неопределенности и реакции поверхности. Один из базовых методов – кинематическое управление – основан на взаимосвязи линейных скоростей движения робота и угловых скоростей колёс, определяемой через кинематическую модель [1]. При этом динамика робота рассматривается как «черный ящик», в котором известны лишь входные и выходные параметры, а управление реализуется на основе вычислений прямой и обратной кинематики с применением данных энкодеров.

Эффективная схема кинематического управления предполагает разделение на два уровня. Высокоуровневый контроллер отвечает за контроль перемещения платформы относительно глобальных координат и его положение на основе ПИД-регулирования с непрерывным приближением целевой функции. Низкоуровневые регуляторы управляют скоростью каждого колеса, используя информацию обратной связи. Несмотря на простоту реализации, такой подход не обеспечивает полной компенсации возмущений [1]. Для повышения устойчивости применяется управление, основанное на динамической модели, описываемой уравнением Лагранжа, что позволяет более точно учитывать физические параметры системы, но требует их точного определения и вычислительных ресурсов для решения дифференциальных уравнений [1].

В исследовании предлагается разработка уточнённой динамической модели мобильного робота, в которой учитываются нелинейные характеристики вентильных бесколлекторных электроприводов меканум-колес, а полная динамика платформы описывается через трехмерный параметрический цифровой двойник, разработка которого описана автором в [2].

Исследование динамики голономного движения мобильной четырехколесной платформы на колесах меканум проведено при замкнутом управлении положением робота с обратной связью по скорости. Рассмотрен вариант задания равных угловых скоростей диагонально размещенных колес меканум при нулевом задании управляющего воздействия на два другие диагонально размещенные колеса меканум. Такое задание управляющего воздействия обеспечивает движение платформы по прямой линии с пропорциональным отклонением от осей X и Y . На графиках рис. 1 приведены зависимости кинематических и динамических переменных робота во времени и в пространстве, полученные в пакете моделирования MATLAB Simulink.

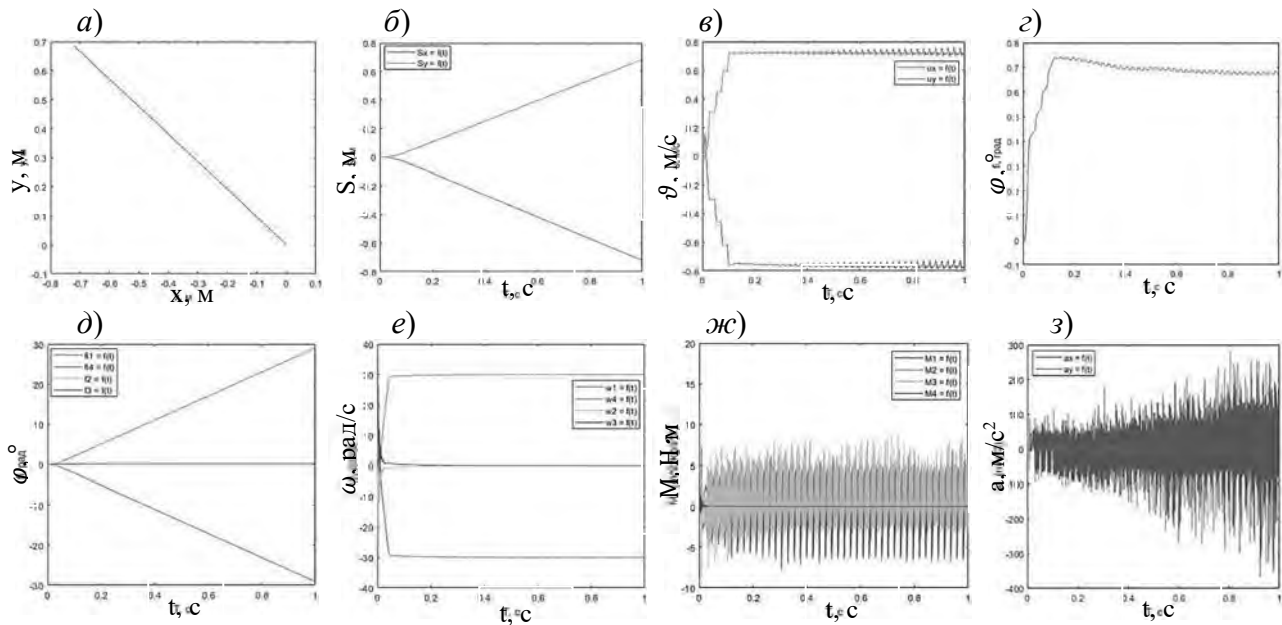


Рис. 1. Графики зависимостей мобильной платформы при замкнутом управлении по скорости: *a* – траектория движения центра масс в осях X – Y ; *б* – зависимости пройденного расстояния от времени по осям X и Y : $S_X = f(t)$, $S_Y = f(t)$; *в* – зависимости линейной скорости центра масс от времени по осям X и Y : $\vartheta_X = f(t)$, $\vartheta_Y = f(t)$; *г* – зависимость отклонения угла поворота корпуса в пространстве $\varphi = f(t)$; *д* – зависимости углов поворота колес: $\varphi_i = 1...4 = f(t)$; *е* – зависимости угловых скоростей колес: $\omega_i = 1...4 = f(t)$; *ж* – зависимости вращательных моментов колес: $M_i = 1...4 = f(t)$; *з* – зависимости линейного ускорения центра масс робота от времени по осям X и Y : $a_X = f(t)$, $a_Y = f(t)$

Зависимости, представленные на рис. 1, свидетельствуют об удовлетворительности регулирования контролируемых координат (угловых скоростей мотор-колес) синтезированной САУ. Задающее воздействие скорости на электроприводы равнялось 30 рад/с (2,7 м/с). Платформа описала траекторию, указанную на рис. 1, *a*, которая близка к прямолинейной (отклонения от прямолинейности составляют 2,7 %), совершила перемещение на 0,7 м, линейная скорость в установившемся режиме равняется 0,7 м/с, а угловое ускорение носит явно выраженный зашумленный колебательный характер со средним значением амплитуды 0,005 м/с². Угол отклонения корпуса робота от первоначального горизонтального положения составил в максимальном значении 0,74°, что не является существенным значением для утраты голономных свойств.

Графики зависимостей на рис. 1 отражают математическую модель движения мобильной платформы с учетом уточненной динамики и характера взаимодействия механум-колес с поверхностью, что особенно проявляется на графиках (см. рис. 1, *в*, *г*, *ж*, *з*), где учитываются колебания параметров, вызванные непостоянством контакта неприводных роликов колес с поверхностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Hernández, J. C. O.** Kinematic control in a four-wheeled Mecanum mobile robot for trajectory tracking / J. C. O. Hernández, D. I. R. Almeida // The Journal of Engineering. – 2024. – № 9. – P. 70006.
2. **Радкевич А. А.** Исследование динамических характеристик голономного робота с колесами типа механум на основе 3D-параметрической имитационной модели / А. А. Радкевич, С. А. Павлюковец // Наука и техника. – 2024. – Т. 23, № 5. – С. 359–369.