

## ОТЗЫВ

на автореферат кандидатской диссертации **У Цюе**

**«РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОГО ГУСЕНИЧНО-КОЛЕСНОГО РЕКОНФИГУРИРУЕМОГО РОБОТА»** на соискание ученой степени кандидата технических наук

Диссертация посвящена построению модели реконфигурируемого робота, а также связанных с этой темой вопросам. Содержание диссертации излагается в четырех главах.

В первой главе проведен системный анализ современного состояния исследований в области мобильной робототехники при работе в условиях неструктурированной среды и обоснована необходимость перехода к реконфигурируемым гусенично-колесным платформам, сочетающим скорость перемещения с адаптивностью структуры к рельефу местности. Построена матмодель задачи реконфигурации в виде процесса динамического управления геометрией опорного многоугольника и положением центра масс системы для обеспечения статической устойчивости.

Во второй главе разработана оригинальная методика многокритериальной параметрической оптимизации геометрии звеньев. При выборе независимых переменных изложен комплексный подход к проектированию модели механизма реконфигурации, включающий матмодель кинематики с учетом специфической конфигурации. После решения задачи многокритериальной параметрической оптимизации здесь предлагается реализация прототипа с комбинированным применением материалов.

В третьей главе приводится архитектура системы управления механизмом реконфигурации мобильного робота и выполняется математическое моделирование динамики приводов с учётом нелинейностей в виде нелинейной задачи управления с ограничениями в виде неравенств. Анализ переходных процессов показывает при этом их апериодический характер и стремление траекторий замкнутой системы к положению равновесия.

В четвертой главе выполнено описание экспериментального робота и описаны эксперименты с ним. При выполнении экспериментов подтверждена корректность геометрии механизма и движения. В конце главы приводятся основные результаты работы:

1. Разработана и обоснована новая кинематическая схема механизма реконфигурации, отличительной особенностью которой является наличие сингулярной конфигурации («мертвой точки») и системы механических упоров. Теоретически доказано, что данное решение позволяет трансформировать подвижную кинематическую цепь в жесткую статическую форму, обеспечивая фиксацию шасси без нагрузки на электропривод.

2. Предложена методика параметрического синтеза механизма реконфигурации. На основе многокритериальной оптимизации определены геометрические параметры

звеньев, обеспечивающие требуемый диапазон углов трансформации ( $80^{\circ} \dots 150^{\circ}$ ) и минимизацию пиковых усилий при использовании стандартных линейных приводов.

3. Разработана схема системы управления мобильным реконфигурируемым роботом, включающая верхний уровень режимной логики на базе конечного автомата и нижний уровень локальных контуров управления исполнительными механизмами. В структуру системы введен модуль автоматического восстановления работоспособности, реализованный на основе специальных диагностических состояний и возвратных переходов конечного автомата, активируемых при сбоях позиционирования, превышении допустимого времени выполнения операций и рассогласовании приводов, обеспечивая автономный выход робота из аварийных режимов без участия оператора.

4. Реализован алгоритм активного сканирования «Stop-and-Scan». Предложенный метод обеспечивает построение профиля препятствий с точностью  $\pm 2$  мм, достаточной для автономного принятия решений о реконфигурации.

5. Разработана стратегия управления с насыщением (High G ain / Saturation Strategy).

6. Создан экспериментальный образец робота и проведены экспериментальные исследования, результаты которых подтвердили эффективность разработанных решений.

Как пожелание на будущее, хотелось бы пожелать диссертанту продолжить работу в направлении более полного учета нелинейностей в модели, а в итоге построения более точного нелинейного регулятора.

Считаю, что результаты диссертации достаточно полно представлены в 17 публикациях в рецензируемых научных отечественных и зарубежных изданиях, а ее автор **У Цюе** заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Г.н.с., д.ф.-м.н.

Дмитриев М.Г.

