

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ ТРЕХМЕРНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНОГО МОБИЛЬНОГО МАРСОХОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ LMS

П.А. Тараненко, В.В. Анчуков, А.А. Шакиров

Разработан и изготовлен опытный образец шасси мобильного марсохода, проведены натурные ходовые испытания, показавшие необходимость его доработки. Предложена новая конструкция шасси. С использованием пакета проведены сравнительные виртуальные ходовые испытания двух прототипов шасси. Такой подход позволил усовершенствовать конструкцию и оценить ее эффективность без изготовления опытного образца.

Ключевые слова: планетоход, динамика движения колесного транспортного средства, имитационное компьютерное моделирование, робототехника.

Одним из актуальных вопросов развития современной науки является освоение космического пространства. Соответственно возникает потребность в определенном оборудовании для выполнения исследовательских работ, наблюдения и сбора информации. В частности, начиная с конца XX века, поверхность Марса изучают с помощью марсоходов.

Однако известные на сегодняшний день марсоходы обладают рядом недостатков, ограничивающих их применение. Сюда можно отнести высокую стоимость, низкую скорость передвижения и недостаточную проходимость по пересеченной местности. Таким образом, появляется необходимость в создании нового сегмента недорогих универсальных мобильных планетоходов.

Мобильный марсоход представляет собой четырехколесное транспортное средство. Создаваемый прототип состоит из трех взаимодействующих подсистем: механической части, электропривода и системы управления с обратной связью.

Первый образец шасси марсохода создан опытным путем, конструкция приведена на рис. 1. Результаты натурных полевых испытаний подтвердили общую работоспособность системы, однако вместе с этим были выявлены некоторые недостатки, в частности неспособность преодолевать некоторые естественные препятствия. Эти результаты показали необходимость доработки опытного образца, выполнение которой было решено проводить расчетным путем с трехмерной динамической модели без изготовления нового опытного образца.

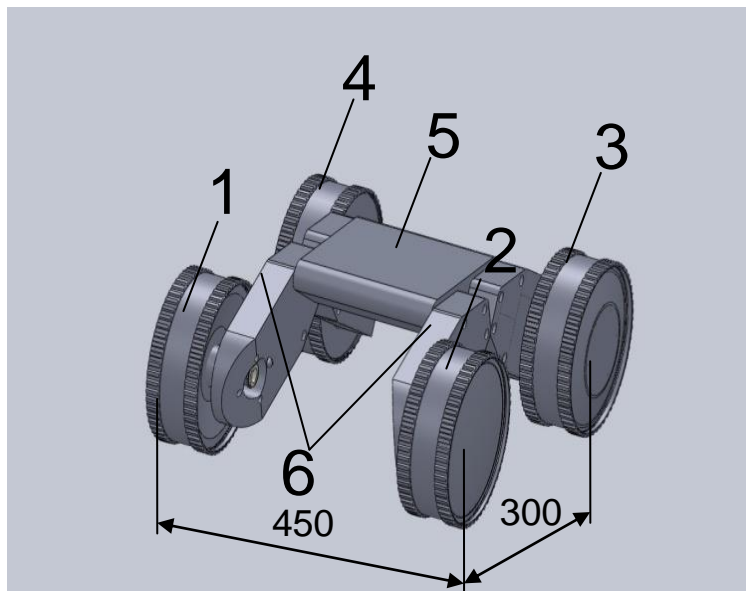


Рис. 1. Общий вид шасси мобильного робота (1, 2 – приводные модули; 3, 4 –неприводные модули; 5 – платформа крепления оборудования; 6 – корпуса расположения плат системы управления и аккумуляторов)

Существует два основных метода исследования динамических моделей: аналитический подход (позволяет получить точное решение дифференциальных уравнений) [1], [2], [3] и численный (с применением прикладных CAE и CAD пакетов). Создаваемая система даже с учетом упрощающих допущений уже является настолько сложной, что ее аналитическое решение становится невозможным. Поэтому сопоставлять аналитическое и численные решения удастся только на простейшей модели, свойства которой достаточно далеки от реального изделия.

Расчетная динамическая модель рассматриваемого мобильного робота создана в среде пакета LMS Virtual.Lab. Данный пакет обладает очень широкими возможностями для решения задач динамики движения, вибрации, шума изделий аэрокосмической и автотракторной техники. Так, применительно к разрабатываемому транспортному средству LMS Virtual.Lab позволяет создавать трехмерные модели (в том числе сборки) проектируемого изделия из абсолютно жестких тел, задавать характеристики материалов, задавать условия взаимодействия и сочленения конкретных элементов модели как между собой, так и с окружающей их средой. Основное преимущество пакета LMS Virtual.Lab заключается в том, что он позволяет проводить виртуальные испытания и совершенствовать изделие еще на стадии разработки, не прибегая к изготовлению опытных образцов, что помогает существенно экономить финансовые средства и сокращать общие сроки процесса создания изделия и вывода его в серию.

Для создания в LMS Virtual.Lab корректной расчетной модели была проведена ее верификация путем сравнения с аналитическим решением для упрощенной двухколесной тележки сопоставлением следующих результатов расчета: траекторий движения центра масс, продольных сил, действующие на каждом колесе. Режимы движения тележки в обоих случаях одинаковы: на одном колесе задан постоянный во времени крутящий момент. В этом случае одно из колес неподвижно (на котором крутящий момент отсутствует), а центр масс тележки вращается вокруг этого колеса. Массы и моменты инерции всех элементов тележек идентичны в обоих случаях. Таким образом, траектория движения центра масс представляет собой окружность. Результаты сопоставления приведены на рис. 3.

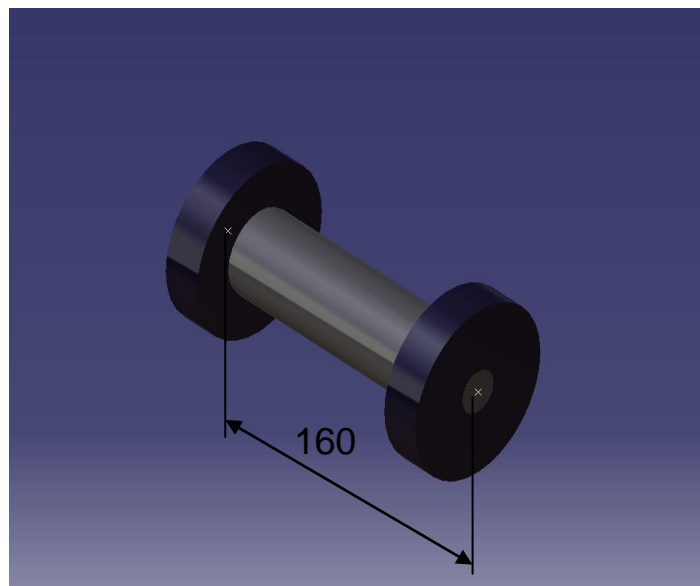


Рис. 2. Упрощенная модель двухколесной тележки

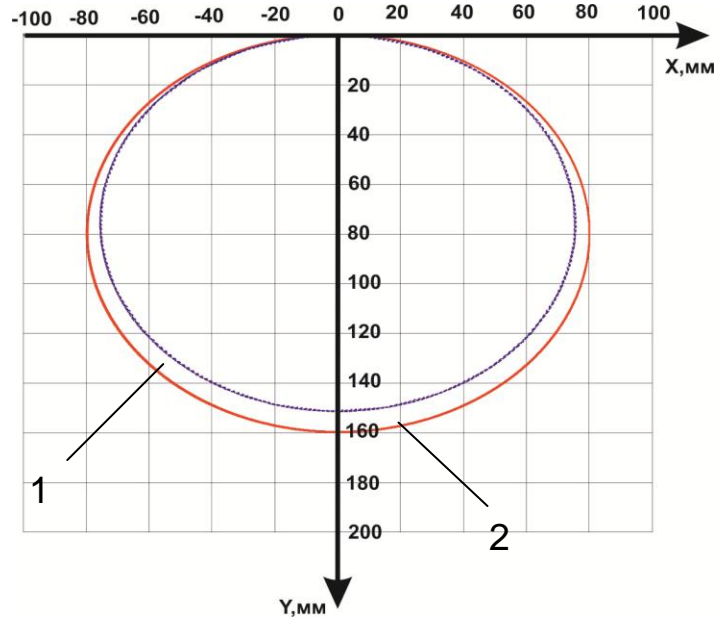


Рис. 3. Траектория движения центра тяжести тележки:
1 – аналитическое решение;
2 – результат моделирования в LMS Virtual.Lab

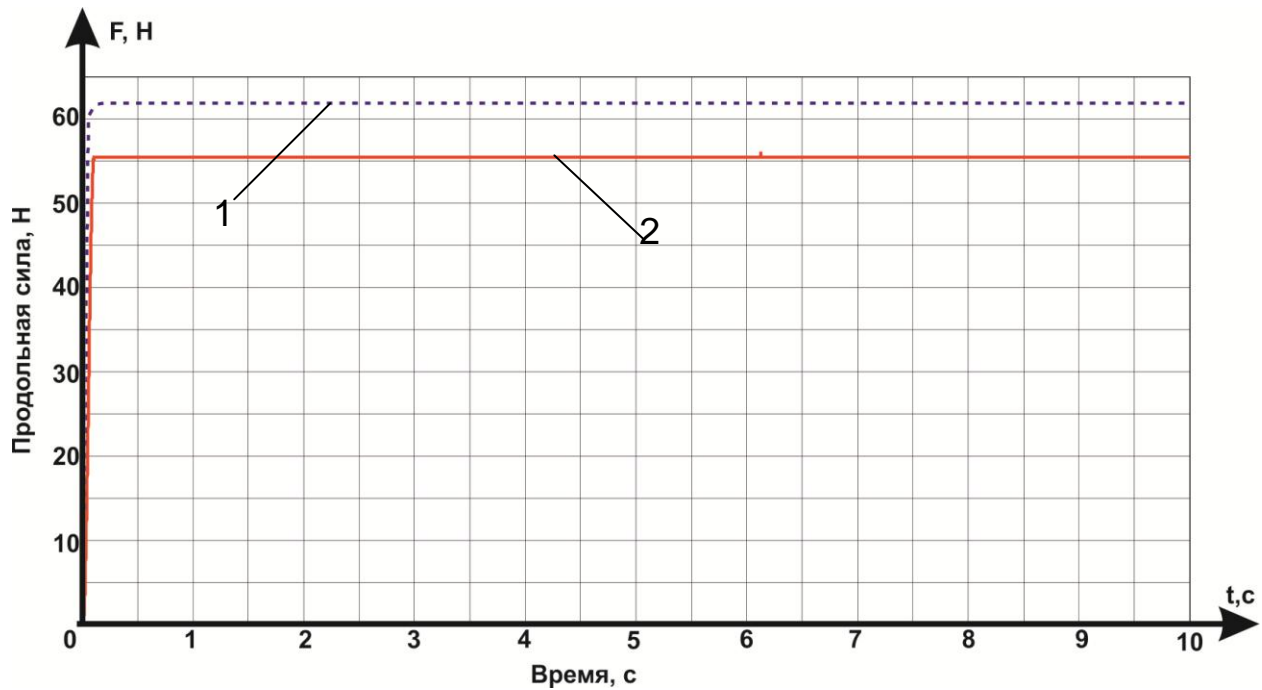


Рис. 4. Изменение значения продольной силы на правом колесе тележки:
1 – аналитическое решение; 2 – результат моделирования в LMS Virtual.Lab

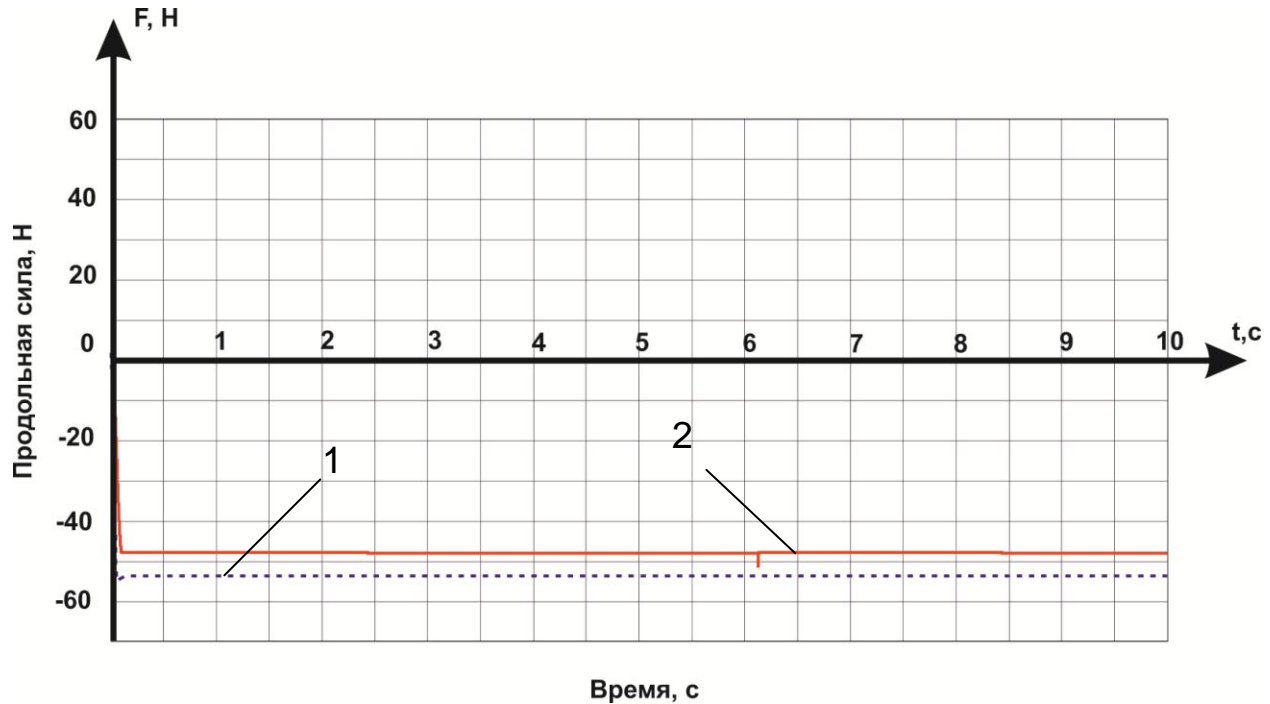


Рис. 5. Изменение значения продольной силы на левом колесе тележки:
1 – аналитическое решение; 2 – результат моделирования в LMS Virtual.Lab

Различие полученных результатов объясняется тем, что аналитическая модель не позволяет учесть все физические явления, которые имеют место при взаимодействии реального колеса транспортного средства с опорной поверхностью. Для создания данного взаимодействия в виртуальной среде пакета LMS Virtual.Lab была использована функция создания модели шины, характеризующейся следующими параметрами: вертикальная и угловая жесткости, коэффициент трения между шиной и дорожным покрытием, демпфирование.

Между шиной и дорожным покрытием образуются следующие силы: нормальная (направлена из точки контакта к оси вращения колеса), продольная (направлена по направлению движения из точки контакта) и поперечная (направлена из точки контакта, перпендикулярно продольной). Продольная и поперечная силы лежат в одной плоскости и являются функциями от нормальной силы.

Основной целью создания расчетной модели был поиск конкретных конструкторских решений по улучшению проходимости прототипа. В процессе разработки было рассмотрено две конфигурации шасси мобильного робота с последующей оценкой их эффективности.

Первоначальный вариант исполнения шасси робота включал в себя жесткую раму, по результатам виртуальных экспериментов было принято решение о признании этой конструкции непригодной к реализации, так как она не позволяла роботу преодолевать препятствия определенного характера (подъем по наклонной поверхности правых колес).

В качестве альтернативного варианта исполнения шасси было предложено использование шарнира в мосте задней рамы, обеспечивающего дополнительную степень свободы соответствующей повороту задней рамы относительно продольной оси. После анализа виртуальных экспериментов были сделаны выводы о существенном улучшении проходимости.

На графике можно наблюдать перемещение центра масс системы по направлению движения виртуальной модели (вдоль оси X).

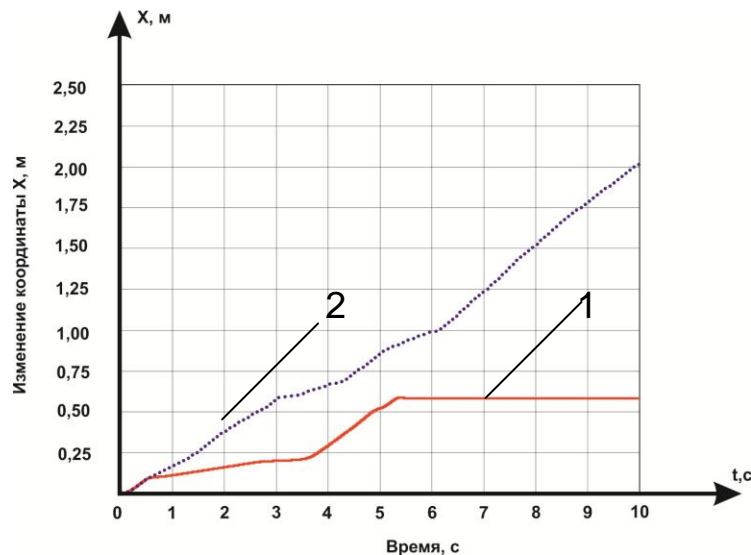


Рис. 6. Перемещение центра тяжести вдоль оси X (1 – движение шасси с жесткой рамой, 2 – движение шасси с шарниром в заднем мосте)

Результаты виртуальных ходовых испытаний показали, что предложенная конструкция шасси обладает существенно более высокой проходимостью при одинаковых режимах движения. Заметим, что этот вывод сделан по результатам ходовых испытаний расчетной трехмерной модели, без изготовления опытного образца, что позволило существенно сократить затраты и значительно снизить сроки разработки новой конструкции.

Библиографический список

1. Бурдаков, С.Ф. Системы управления движением колесных роботов / С.Ф. Бурдаков, И.В. Мирошник, Р.Э. Стельмаков. – СПб.: Наука, 2001. – 228 с.
2. Колесников, К.С. Курс теоретической механики / К.С. Колесников. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2005. – 736 с.
3. Неймарк, Ю.И. Динамика неавтономных систем / Ю.И. Неймарк, Н.А. Фуфаев. – М.: Наука, 1967. – 521 с.

[К содержанию](#)