

УДК 631.372

## ПРОТОТИПИРОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ДЛЯ СРЕД РАЗРАБОТКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Радкевич А. А.

Научный руководитель – Павлюковец С. А., – к.т.н., доцент

Мобильные роботы, включающие в себя широкий класс автономных устройств, способны перемещаться в пространстве при помощи разнообразных движителей, таких как колёсные, гусеничные, бионические и т.п. Колёсные роботы являются одними из распространённых видов мобильных роботов, причём всё больший интерес представляют роботы на всенаправленных колёсах типов *omni* и *mecanum* за счёт своих голономных свойств при движении [1]. При этом их распространение ограничено условиями работы, требующими высокой энергоэффективности и передвижения по пересечённой местности [2].

Для успешной эксплуатации мобильного робота, а также для исследования его динамики и кинематики на стадии проектирования широко применяются принципы виртуального прототипирования, которые включают этапы создания цифрового двойника устройства, моделирование режимов его работы, динамических характеристик и свойств в компьютерных пакетах математического моделирования нелинейных динамических систем, оптимизация параметров и конструкции робота на основе анализа полученных результатов и создание опытного физического образца с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР).

Целью данной работы является описание методики виртуального прототипирования мобильного робота с колёсами всенаправленного типа *mecanum* на основе построения трёхмерной параметрической модели в программном пакете *SolidWorks* и дальнейшее изучение его динамических характеристик путём пошаговой интеграции составных компонентов пространственной модели робота в среду динамического моделирования *MATLAB Simulink*. Такой подход [2], связанный с интеграцией инженерных пакетов проектирования, позволяет автоматизировать процесс создания опытного образца с максимальной точностью и позволяет напрямую вносить корректировки и оптимизировать конструкцию робота путём анализа его функциональных зависимостей в *MATLAB Simulink*.

Процесс прототипирования мобильного робота состоит из шести последовательных этапов [2]:

1. Создание 3D модели в среде *SolidWorks* на базе эскизной модели, основанной на массогабаритных показателях робота.

2. Сборка и настройка подвижных и неподвижных частей робота, включающих в себя корпус, колёса *tesanum*, состоящие из ступицы, обода и вращающихся неприводных роликов, размещённых под углом  $45^\circ$  относительно оси вращения ступицы, электроприводы колёс и системы управления ими, бортовой контроллер управления движением робота, сенсорные устройства, механические передачи и связи, и другие элементы.

3. Создание блочной математической модели робота в программе *MATLAB Simulink* с использованием интегрированных в модель деталей, созданных ранее в среде *SolidWorks*, как изображено на рис. 1.

4. Моделирование требуемых режимов движения робота при заданных условиях и ограничениях.

5. Оптимизация конструкции мобильного робота в САПР *SolidWorks* на основе анализа полученных результатов моделирования.

6. Повторное моделирование оптимизированной конструкции робота в *MATLAB Simulink* до достижения желаемых результатов работы и повторная оптимизация конструкции при недостижении требуемых результатов.

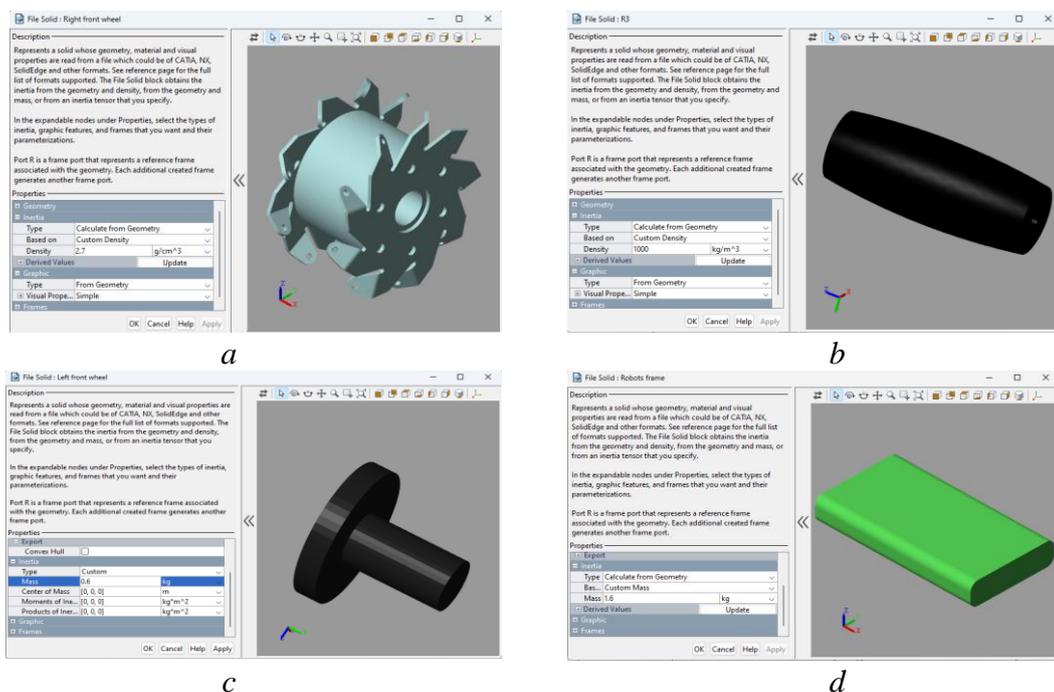


Рис. 1. Окна настроек блоков *File Solid* с импортированными из *SolidWorks* файлами компонентов: обода колеса (a), ролика колеса (b), ступицы колеса (c) и корпуса робота (d)

В рамках поставленной задачи изучения динамических характеристик мобильного робота с колёсами всенаправленного типа *tesanum* при помощи построенного цифрового прототипа модели было проведено моделирование движения по прямолинейной траектории на протяжении 1 м. Заданными параметрами для моделирования являлись угловые скорости

вращения колёс и линейная скорость центра масс робота, время на участках разгона, установившегося движения и торможения, а также требуемая дистанция пути. Выходными характеристиками системы являлись фактически пройденные траектории движения центра масс робота и каждого из колёс, фактическая угловая и линейная скорости колёс, фактически пройденное расстояние и ошибка по положению.

Результаты моделирования получены в пакете *MATLAB Simulink* в виде графиков зависимостей соответствующих параметров, а также в виде анимации движения робота в приложении *Mechanics Explorer*.

Следует отметить, что приложение *Mechanics Explorer* позволяет получить трёхмерную визуализацию движения объекта в плоскостях *XYZ*, однако моделируемое движение робота являлось плоскопараллельным. Результаты анимации движения колёсного робота по прямолинейной траектории, выполненной в приложении *Mechanics Explorer*, показаны на рис. 2.

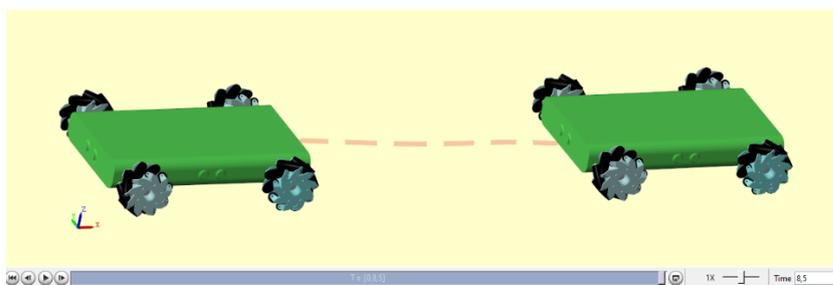


Рис. 2. Анимация движения мобильного робота по прямолинейной траектории в приложении *Mechanics Explorer* среды динамического моделирования *MATLAB Simulink*

В результате моделирования, полученные модельные данные позволили не только подтвердить и уточнить начальные предположения на счёт динамики робота, но и определить ряд ключевых зависимостей его функционирования. Полученные данные необходимы для внесения корректировок в цифровую модель робота и её оптимизации. Оптимизированный компьютерный прототип является основой для создания физической модели колёсного мобильного робота.

### *Литература*

1. Павлюковец, С. А. К вопросу управления мобильным роботом с колесами всенаправленного типа / С. А. Павлюковец [и др.] // *BIG DATA и анализ высокого уровня: сборник научных статей IX Международной научно-практической конференции*, Минск, 17–18 мая 2023 г. : в 2 ч. Ч. 2 / БГУИР ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2023. – С. 94–102.