

Интеграция твердотельных моделей в среду динамического моделирования MATLAB/Simulink

Д.А. Лентичкий, Д.Р. Кузовков, В.Н. Сидоров

*Калужский филиал Московского государственного технического университета
им. Н.Э. Баумана*

Аннотация: В работе представлена методика интеграции трехмерных твердотельных моделей, разработанных в среде CAD SolidWorks, в среду динамического моделирования MATLAB/Simulink. Ключевым элементом исследования является применение модуля Simscape Multibody для преобразования геометрических данных и кинематических связей в многомассовую динамическую модель. Методика апробирована на примере создания виртуального прототипа колесной платформы с рулевым управлением.

Ключевые слова: SolidWorks, MATLAB/Simulink, Simscape Multibody, виртуальный прототип, кинематика рулевого управления, сквозное проектирование, многомассовая динамическая модель.

Введение

Одним из ключевых направлений совершенствования процесса проектирования сложных мехатронных систем, к которым относятся и мобильные робототехнические платформы, является внедрение методов сквозного проектирования. Такой подход позволяет существенно сократить временные и финансовые затраты на этапах разработки и испытаний за счет создания и всестороннего анализа виртуальных прототипов [1, 2].

Основной проблемой при построении адекватных виртуальных прототипов является обеспечение согласованного взаимодействия между точными геометрическими трехмерными моделями, разрабатываемыми в средах CAD (например, SolidWorks), и сложными динамическими моделями, реализуемыми в средах имитационного моделирования (например, MATLAB/Simulink). Традиционный подход, предполагающий ручной перенос геометрических и инерционных параметров из CAD в модель динамики, не только трудоемок, но и чреват ошибками, что снижает достоверность результатов моделирования [3].

Целью настоящего исследования является разработка универсальной методики интеграции параметрических трехмерных твердотельных моделей,

созданных в среде CAD SolidWorks, в среду динамического моделирования MATLAB/Simulink с использованием специализированного модуля Simscape Multibody. Данная методика позволяет автоматически преобразовывать геометрию и кинематические связи сборки в готовую многомассовую динамическую модель, которая служит основой для создания виртуального прототипа.

В работе методика апробирована на примере создания виртуального прототипа колесной платформы с рулевым управлением [4]. Показано, что данный подход позволяет проводить анализ динамических параметров системы, таких как кинематика рулевого механизма и переходные процессы в системе управления, непосредственно на основе данных CAD-модели, что исключает ошибки ручного ввода и повышает адекватность моделирования.

Построение комплексной имитационной модели осуществляется в несколько этапов. Первый этап включает разработку параметрической 3D-сборки в SolidWorks. Для этого в среде SolidWorks создается трехмерная сборка устройства. Для обеспечения корректного динамического анализа критически важными являются:

- корректное задание сопряжений (mates), которые однозначно определяют степени свободы всех компонентов системы;
- назначение реальных материалов всем компонентам для автоматического расчета массово-инерционных характеристик;
- параметричность модели, позволяющей в дальнейшем модифицировать геометрию без нарушения целостности сборки.

На рисунке 1 представлена построенная 3Д-модель.

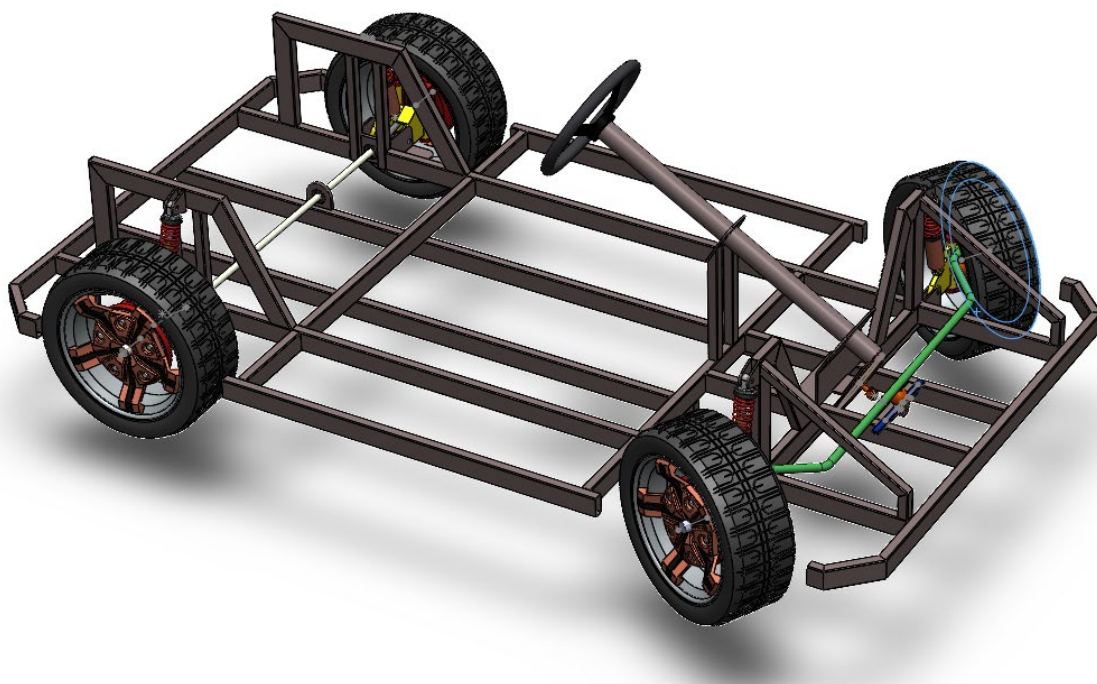


Рис. 1. – 3Д модель

Следующий этап - это экспорт модели в MATLAB/Simulink. Для передачи данных используется надстройка Simscape Multibody Link [5]. Процедура экспорта включает генерацию файла в формате XML, содержащего математическое описание геометрии, инерционных характеристик и кинематических связей всей сборки. Автоматическое создание в среде Simulink модели, состоящей из набора взаимосвязанных блоков: Solid (твердое тело), Joint (кинематическая пара), Constraint (ограничение). На данном этапе модель является пассивной и пригодна лишь для визуализации.

Третий этап - это модификация и дополнение модели в Simulink. Импортированная модель служит основой для создания виртуального прототипа [6, 7]. Модификации включают:

- добавление исполнительных механизмов (Actuators): силовые приводы (блоки силы/момента) подключаются к управляемым степеням

свободы. Для рулевого управления колесной платформы это блок 'Joint Actuator', подающий момент на ось вращения поворотного кулака (рис. 2);

- добавление датчиков (Sensors): Блоки измерений ('Joint Sensor', 'Body Sensor') предоставляют информацию о положении, скорости и усилии в механизме;

- синтез системы управления: разрабатывается алгоритм управления (например, ПИД-регулятор), который по заданному воздействию и сигналам с датчиков формирует управляющие сигналы для исполнительных механизмов;

- структурирование модели: для улучшения читаемости блоки группируются в подсистемы (например, «Шасси», «Рулевое управление», «Система контроля») [8, 9].

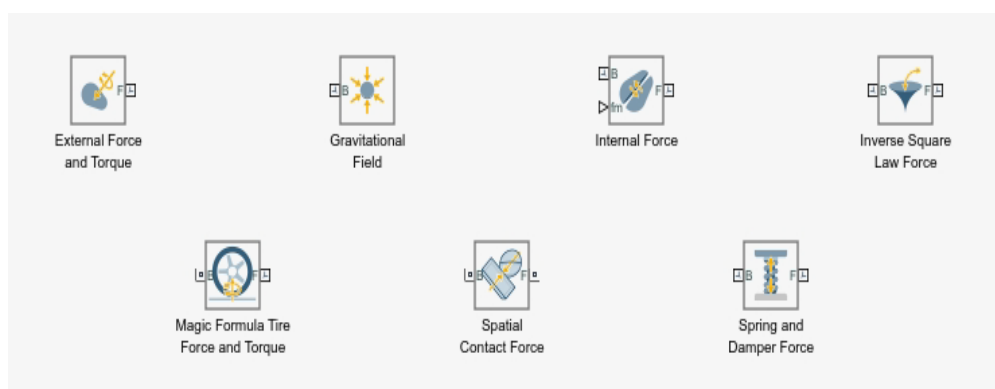


Рис. 2. – Виды взаимодействия

Импортированная модель колесной платформы с рулевым управлением и подблок «Колесо» представлены на рисунках 3 и 4 [10]. После импорта сборки и модификации модели в Simulink были проведены вычислительные эксперименты [11]. Модель позволила:

- задавать различные управляющие воздействия на рулевой механизм;
- в реальном времени отслеживать траекторию движения платформы;
- получать параметры работы рулевого управления: углы поворота колес, усилия в элементах рулевого механизма, переходные процессы.

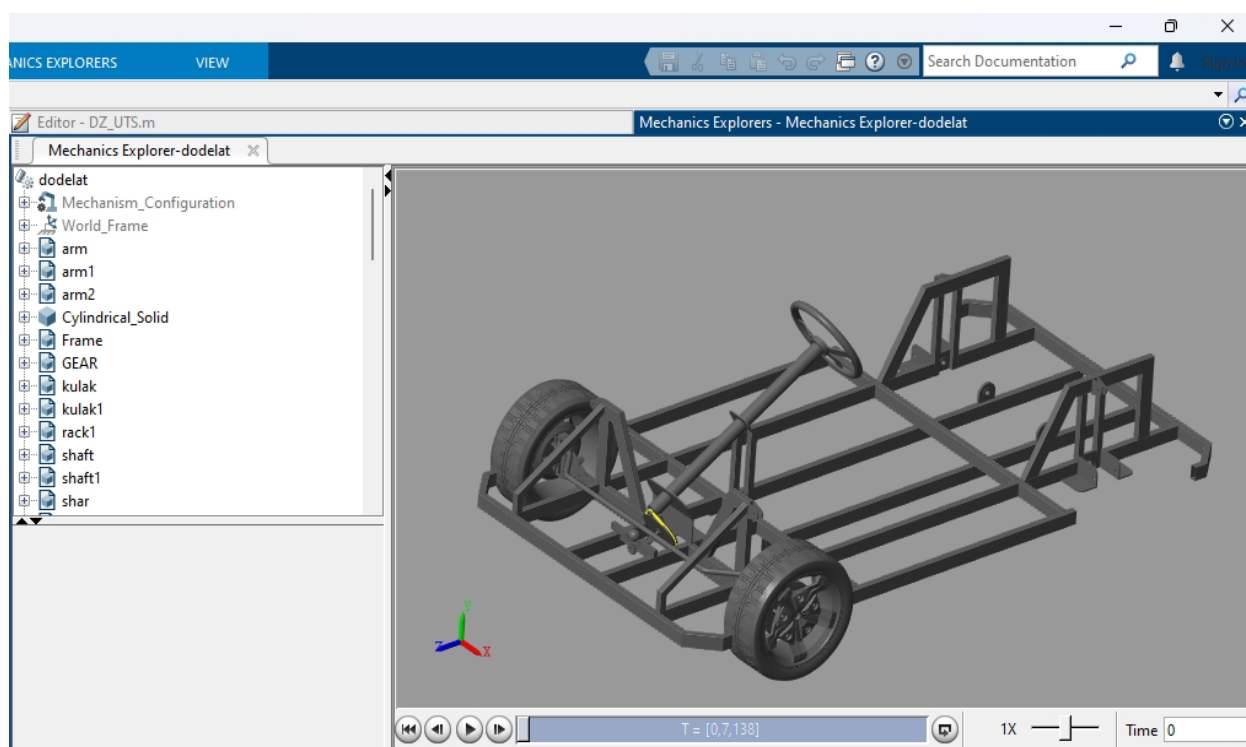


Рис. 3. – Импортированная модель колесной платформы с рулевым управлением

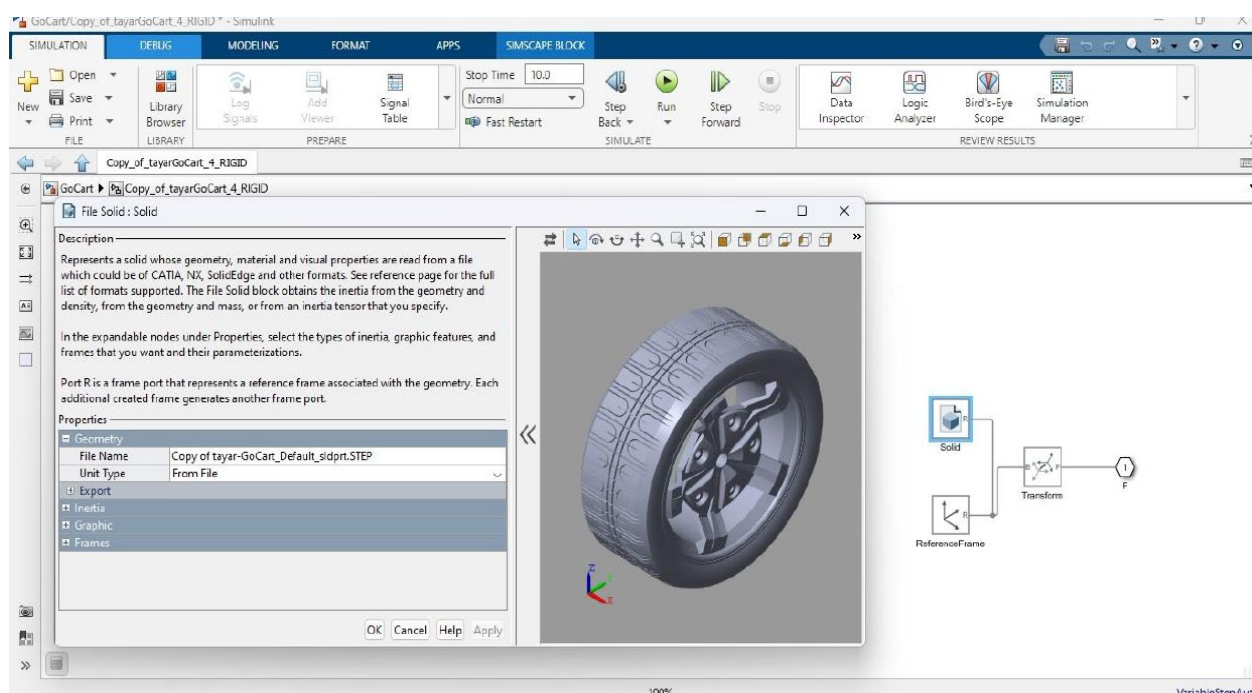


Рис. 4. – Подблок «Колесо» импортированной модели колесной платформы с рулевым управлением

Визуализация в окне Simscape Multibody позволила наблюдать за движением модели и верифицировать корректность ее кинематики (рис. 5 - 7).

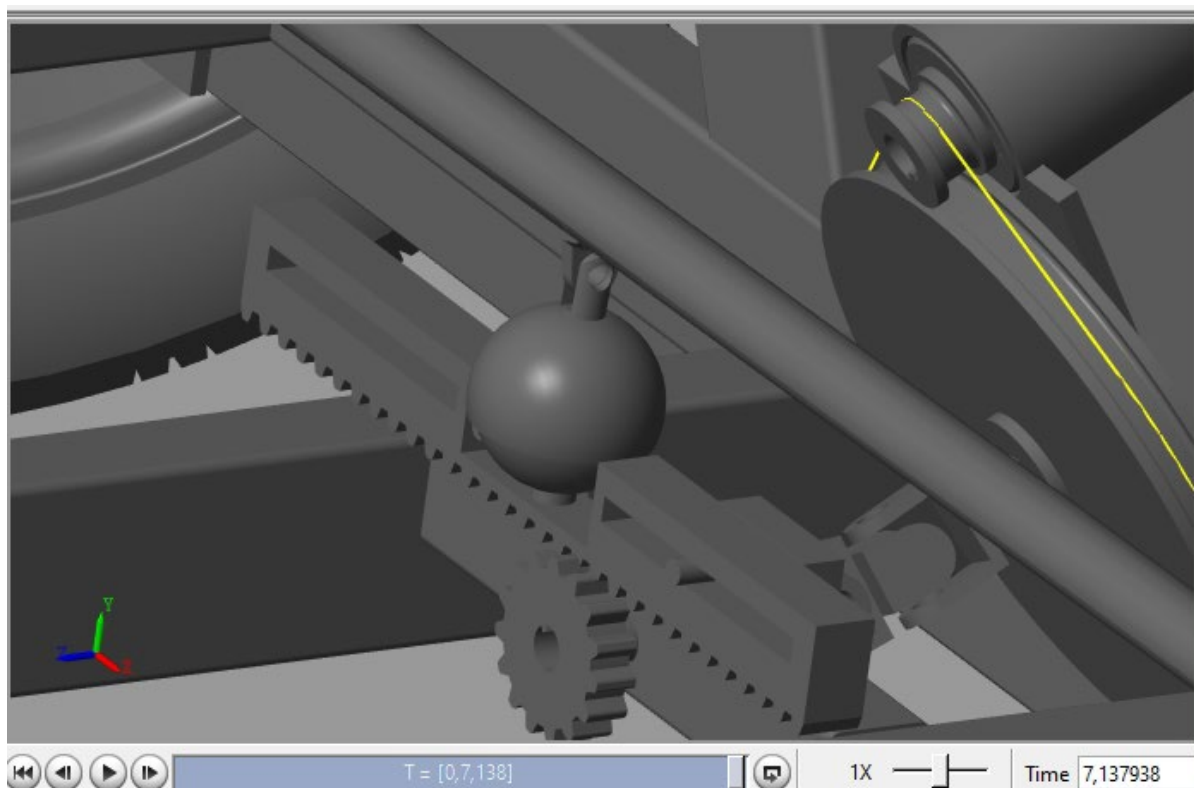


Рис. 5. – Визуализация в окне Simscape Multibody движения рулевой рейки

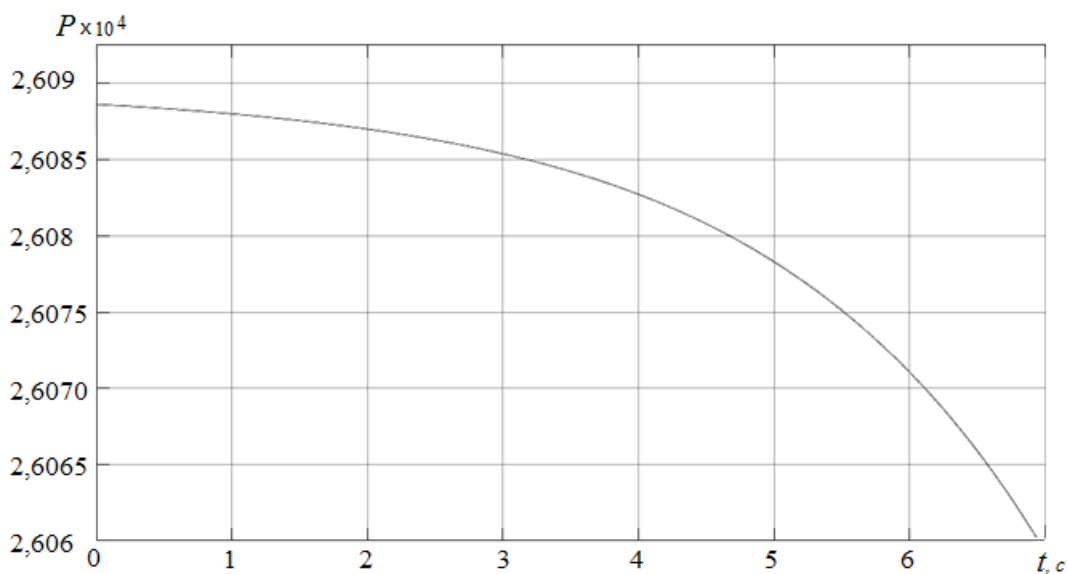


Рис. 6. – Визуализация в окне Simscape Multibody нормальной реакции в рулевой рейке

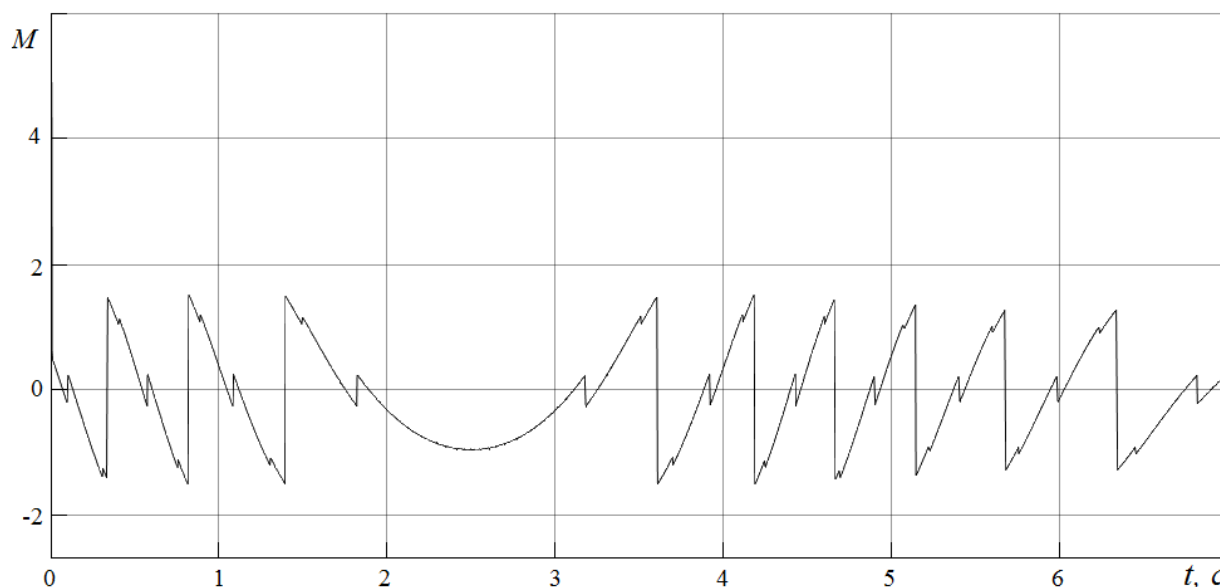


Рис. 7. – Визуализация в окне Simscape Multibody крутящего момента на рулевом колесе

На основе полученных данных был проведен анализ кинематики рулевой трапеции, определены оптимальные параметры управляющих сигналов для минимизации времени отклика системы и проанализирована устойчивость движения. Использование точных массово-инерционных характеристик, импортированных из SolidWorks, позволило получить высокую степень соответствия виртуального прототипа поведению реального объекта.

Литература

1. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: Инфа-М, 2014. 506 с.
2. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. Минск: Новое знание, 2001. 584с.
3. Жилейкин М.М., Котиев Г.О. Моделирование систем транспортных средств. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 280 с.

4. Филькин Н. М., Шаихов Р. Ф., Буянов И. П. Теория транспортных и транспортно-технологических машин. Пермь: ФГБОУ ВО Пермская ГСХА, 2016. 230 с.

5. Фомин В.И., Шапкин Я.Д., Лентицкий Д.А., Кузовков Д.Р., Сидоров В.Н. Моделирование изменения угла крена крутосклонного трактора в среде MathLab Simulink // Инженерный вестник Дона, 2025, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2025/10324.

6. Моделирование взаимодействия шины колеса с опорным основанием опорно-ходового модуля / Скрынников А.В., Шихин А.В., Попов А.А., Сидоров В.Н. // Инженерный вестник Дона. 2022. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7695.

7. Колбасов А.Ф. Некоторые актуальные вопросы работы автомобильной шины. Сочи: Фундаментальные исследования. 2011. №8-1. С. 128-130. URL: fundamental-research.ru/ru/article/view?id=26799.

8. Рыжков И.Б. Основы научных исследований и изобретательства. С-Пб.: Лань, 2019. 224 с. URL: e.lanbook.com/book/116011.

9. Ларин В.В. Зависимости вертикальной деформации пневматических шин. М.: Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. №12. С. 9. URL: engjournal.ru/catalog/machin/transport/1032.html.

10. Документация MATLAB. URL: docs.exponenta.ru/documentation-ncenter.html.

11. Заруцкий С.А., Власенко Е.А. Автоматизация анализа данных экспериментальных исследований // Инженерный вестник Дона, 2019, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4753.

References

1. Kutkov G.M. Traktori i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskie svoistva [Tractors and cars. Theory and technological properties]. М.: Infa-M, 2014. 506 p.

2. Tarasik V.P. Matematicheskoe modelirovanie tekhnicheskikh system [Mathematical modeling of technical systems]. Minsk: Novoe znanie, 2001. 584p.
3. Zhileikin M.M., Kotiev G.O. Modelirovanie sistem transportnikov sredstv [Modeling of vehicle systems]. M.: Izdatelstvo MGTU im. N.E. Baumana, 2018. 280 p.
4. Filkin N. M., Shaikhov R. F., Buyanov I. P. Teoriya transportnikov i transportno-tekhnologicheskikh mashin [Theory of transport and transport-technological machines]. Perm: FGBOU VO Permskaya GSKhA, 2016. 230 p.
5. Fomin V.I., Shapkin Ya.D., Lentitskii D.A., Kuzovkov D.R., Sidorov V.N. Inzhenernyi vestnik Dona, 2025, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2025/10324.
6. Skrynnikov A.V., Shikhin A.V., Popov A.A., Sidorov V.N. Inzhenernyi vestnik Dona, 2022. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7695.
7. Kolbasov A.F. Fundamentalnie issledovaniya. 2011. №8-1. S. 128-130. URL: fundamental-research.ru/ru/article/view?id=26799.
8. Rizhkov I.B. Osnovi nauchnikh issledovaniy i izobretatelstva [Fundamentals of scientific research and invention]. S-Pb.: Lan, 2019. 224 p. URL: e.lanbook.com/book/116011.
9. Larin V.V. Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii. 2013. №12. p. 9. URL: engjournal.ru/catalog/machin/transport/1032.html.
10. Dokumentatsiya MATLAB [MATLAB Documentation]. URL: docs.exponenta.ru/documentation-ncenter.html.
11. Zarutskii S.A., Vlasenko Ye.A. Inzhenernyi vestnik Dona, 2019, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4753.

Дата поступления: 11.11.2025

Дата публикации: 25.12.2025