

© Н. В. Хольшев, канд. техн. наук, доцент  
© А. В. Милованов, канд. техн. наук, доцент  
© А. В. Прохоров, канд. техн. наук, доцент  
© С. М. Ведищев, д-р техн. наук, профессор  
(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия)  
E-mail: xhb@live.ru

© N. V. Holshev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
© A. V. Milovanov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
© A. V. Prokhorov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
© S. M. Vedishchev, Dr. Sci. Tech., Professor  
(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)  
E-mail: xhb@live.ru

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРИВОДА АВТОМОБИЛЯ

### VEHICLE DRIVE SIMULATION MODEL

Приводятся описание и основные функции имитационной модели привода транспортного средства, разработанной в среде SimInTech. В основу модели положена уточненная методика расчета тягово-динамических свойств автомобиля. Модель позволяет оперативно вычислять требуемую мощность двигателя по требуемой максимальной скорости с учетом условий движения и нагружения. Она также предоставляет большие возможности проведения численных экспериментов по исследованию влияния условий движения на режимы работы автомобиля. В работе приведены результаты численного эксперимента по определению влияния угла продольного наклона дороги, скорости и направления ветра на величину расхода топлива на заданном пути.

*Ключевые слова:* цифровой двойник, привод автомобиля, эксплуатационные свойства автомобиля, SimInTech.

The article provides a description and main functions of the simulation model of a vehicle drive developed in the SimInTech environment. The model is based on a refined method for calculating the traction and dynamic properties of the vehicle. The model allows quickly calculating the required engine power according to the required maximum speed, taking into account the conditions of movement and loading. It also provides great opportunities to conduct numerical experiments to study the effect of driving conditions on vehicle operating modes. The paper presents the results of a numerical test to determine the effect of the angle of longitudinal inclination of the road, wind speed and direction on the value of fuel consumption on a given path.

*Keywords:* digital twin, vehicle drive, vehicle performance characteristics, SimInTech environment.

#### Введение

Создание более совершенной и экономичной техники на современном этапе развития науки невозможно без применения технологии цифрового моделирования. Адекватная цифровая модель процесса или объекта позволяет в кратчайшие сроки и с минимальными затратами с достаточной точностью выявить недостатки проектируемого объекта, убрать грубые просчеты и вовремя устранить их причины, а также проанализировать поведение объекта или техпроцесса в случае нештатной ситуации [1, 2]. В основе любой модели лежит математическая модель, описывающая взаи-

мосвязь параметров, поэтому так важны совершенствование существующих методик расчета параметров и разработка новых методик. Наличие обратной связи модели с реальным объектом позволяет повысить адекватность математических моделей. Как правило, математические модели содержат сложные выражения, трудоемкие для расчетов, поэтому применение современных программ актуально и перспективно.

Не является исключением в этом плане область исследований, направленных на улучшение и прогнозирование эксплуатационных свойств автомобилей. Привод автомобиля, включающий двигатель и транс-

миссию, определяет такие свойства автомобиля, как экологичность, эксплуатационная проходимость, топливная экономичность и тягово-скоростные свойства [3]. Текущие значения данных свойств не являются статичными, они зависят от многих внешних (наличие подъемов и спусков, встречного и попутного ветра, характер дорожного покрытия) и внутренних факторов (степень загрузки автомобиля, выбранная передача коробки перемены передач, распределение массы по осям, аэродинамические характеристики автомобиля и др.). Использование имитационной модели привода автомобиля дает возможность:

- изучения влияния текущих условий движения на соответствующие значения тягово-скоростных, топливно-экономических параметров и частично свойств проходимости автомобиля;
- прогнозирования потребной мощности двигателя для обеспечения требуемой максимальной скорости, осуществимости движения при заданных условиях движения или же установления максимально возможной скорости при неизменной мощности двигателя.

Немалое влияние на эффективность и адекватность работы модели оказывает выбор среды моделирования, которая должна обеспечивать высокую скорость разработки, быть доступной и несложной в освоении.

Сегодня существует множество программных решений, позволяющих моделировать физические объекты и технологические процессы. Эти решения различаются уровнем универсальности, кругом поставленных задач и используемыми методами вычислений [4]. Особый интерес для нас представляет группа программ, осуществляющих динамическое моделирование различных систем и процессов. К ним относится среда SimInTech — отечественная среда динамического моделирования тех-

нических систем, выполняющая схожие с Simulink функции<sup>1</sup>.

Среда SimInTech позволяет осуществлять разработку математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления и автоматической генерации кода для контроллеров управления и графических дисплеев [5]. Существует ряд моделей элементов транспортных средств, выполненных в данной среде [6–10], что говорит о возможности ее использования для решения задач по моделированию и оптимизации работы автомобиля.

Проведенный анализ возможностей существующих программ для создания цифровых двойников с учетом решаемой задачи в данной работе позволил установить, что среда SimInTech лучше всего подходит для создания имитационной модели привода автомобиля.

### Методы

В основу разработанной модели привода автомобиля были положены общеизвестные математические выражения для расчета тягово-скоростных характеристик автомобиля [11, 12], но с некоторыми дополнениями, позволившими расширить возможности ее применения. Одним из них является возможность расчета не только усредненного путевого расхода топлива, но и интегрального расхода с учетом переменных условий и режимов движения на заданном маршруте с определенной протяженностью и условиями движениями, который находится как сумма путевых расходов на участках пути, проходимых им за 1 секунду. Интегральное значение расхода топлива, л при переменных условиях и режимах движения на заданном участке пути  $S_s$  находится по выражению

$$q_{in} = \sum_1^{t_s} \frac{g_e^i N_{ej}^i}{3,6 \cdot 10^6 \rho_T}, \quad (1)$$

где  $t_s$  — время в пути, с;  $g_e^i$  — удельный расход топлива для текущих значений условий

<sup>1</sup> Simulink. URL: <https://exponenta.ru/simulink> (дата обращения: 15.02.2025).

движения, г/(кВт · ч);  $\rho_T$  — плотность топлива, кг/л;  $N_{ej}^i$  — мощность двигателя, необходимая для движения автомобиля на  $i$ -й передаче при  $j$ -й скорости движения автомобиля, кВт;

$$t_s = 3600 \frac{S_3}{V_{aj}^i}, \text{ с.} \quad (2)$$

Типовая методика предусматривает расчет мощности двигателя  $N_{ej}^i$ , кВт, по выражению

$$N_{ej}^i = \frac{V_{aj}^i}{3600\eta_{тр}} \left( \psi_m G_a + \frac{K_B F_a (V_{aj}^i)^2}{13} \right), \quad (3)$$

где  $V_{aj}^i$  — скорость автомобиля на  $i$ -й передаче при  $j$ -й частоте вращения коленчатого вала, км/ч;  $\eta_{тр}$  — механический КПД;  $\psi_m$  — текущее значение приведенного коэффициента дорожного сопротивления;  $G_a$  — вес автомобиля с грузом, Н;  $K_B$  — коэффициент сопротивления воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $F_a$  — площадь лобового сечения транспортного средства, м<sup>2</sup>.

В выражении (3) не учитывается влияние скорости и направления ветра. В типовых методиках тягово-динамического расчета данные факторы обычно не учитываются. Проведенные ранее исследования позволили установить важность учета скорости и направления ветра при расчете текущих значений эксплуатационных свойств автомобиля [13].

Опыт выполнения тягово-динамических расчетов транспортных средств показывает, что результаты расчета мощности двигателя по типовой методике тягово-динамического расчета, как правило, не совпадают с реальными значениями прототипа. Поэтому в методику, реализуемую в предлагаемой имитационной модели, был введен корректирующий коэффициент, который находится как отношение фактической номинальной мощности  $N_{e\max}^H$  (по прототипу) к расчетной мощности двигателя  $N_{eV\max}$ , кВт, необходимой для движения ТС с полной нагрузкой в заданных дорожных условиях, с установившейся максимальной скоростью  $V_{\max}$ :

$$k_k = \frac{N_{e\max}^H}{N_{eV\max}}; \quad (4)$$

$$N_{eV\max} = \frac{V_{\max}}{3600\eta_{тр}} \left( \psi G_a + \frac{K_B F_a V_{\max}^2}{13} \right), \quad (5)$$

где  $V_{\max}$  — максимальная скорость ТС на прямой передаче в заданных дорожных условиях, км/ч;  $\psi$  — приведенный коэффициент дорожного сопротивления.

Таким образом, с учетом выражений (3) и (4) было получено уточненное выражение для расчета требуемой мощности двигателя для движения с заданной скоростью в заданных условиях и режимах движения:

$$N_{ej}^i = k_k \frac{V_{aj}^i}{3600\eta_{тр}} \left( \psi_m G_a + \frac{K_B F_a (V_{aj}^i + V_B \cos \alpha_B)^2}{13} \right), \quad (6)$$

где  $k_k$  — корректирующий коэффициент;  $V_B$  — скорость ветра, км/ч;  $\alpha_B$  — угол между векторами скорости автомобиля и ветра, град.

Задавшись требуемой максимальной эксплуатационной скоростью, можно осуществить также подбор необходимой мощности двигателя.

Аналогичная корректировка по учету скорости и направления ветра была произведена и в выражении для расчета силы сопротивления воздуха  $P_{B(j)}^i$ , Н:

$$P_{B(j)}^i = \frac{K_B F_a (V_{aj}^i + V_B \cos \alpha_B)^2}{13}. \quad (7)$$

Взяв за основу типовую методику тягово-динамического расчета [14] и используя приведенные выражения, с учетом специфики работы в SimInTech были разработаны несколько составляющих модели (субэлементы):

- модель ДВС,
- модель КПП,
- блок динамического фактора,
- блок вычисления расхода топлива.

Все элементы объединены в одну субмодель — привода транспортного средства.

Субмодель ДВС содержит расчет текущих показателей внешней скоростной характеристики двигателя. Выходные данные из этого

блока затем направляются во второй субэлемент — модель коробки перемены передач. Данный элемент содержит алгоритм расчета максимально возможной скорости, тяговой силы на колесах, силы сопротивления воздуха, силы сопротивления перемещению, суммы сил сопротивления, приведенного коэффициента сопротивления движению, текущих значений скорости. Также здесь содержатся необходимые технические характеристики автомобиля — передаточные числа КПП и главной передачи, коэффициент аэродинамического сопротивления автомобиля, радиус колеса, КПД трансмиссии, габариты автомобиля.

Вспомогательный блок динамического фактора ведет расчет на основании выходных данных моделей ДВС и КПП. На выходе из блока получаем значение предельной скорости по буксованию, а также максимально преодолеваемый угол подъема дороги.

Блок вычисления расхода топлива ведет расчет по типовой методике с учетом предложенных выражений. На выходе получаем среднее значение путевого расхода топлива, требуемой мощности, интегрального расхода топлива на заданном пути и при заданных условиях движения. Суть расчета интегрального расхода топлива заключается в последовательном определении и суммировании текущего значения расхода топлива с учетом фактических значений внешних и внутренних факторов через интервал времени в 1 секунду. Такие вычисления производятся до того момента, пока не будет пройден весь заданный путь. После этого расчет прекратится автоматически.

Структурно модель можно разделить на три части: часть условий и режимов движения, расчетный блок и иллюстрационный блок [12].

Управляющая часть модели (рис. 1) имитирует основные органы управления автомобилем (кнопка «Зажигание», селектор коробки перемены передач, тахометр), а также

предусматривает возможность оперативного изменения требуемой максимальной скорости, условий движения, загрузки автомобиля и распределения массы по осям.

Расчетная часть модели (рис. 2) принимает входные сигналы и позволяет просматривать их значения (входы слева), а также результаты расчета в реальном времени (выходы справа). Наименования параметров приведены на рис. 2.

В иллюстрационной части (рис. 3) предусмотрено оперативное построение:

- кривых, иллюстрирующих изменение мощности при заданной скорости от скорости и направления ветра, массы груза;
- кривых потребной мощности для обеспечения заданной максимальной эксплуатационной скорости;
- кривых внешней скоростной характеристики двигателя;
- графика прироста расхода топлива на заданном пути;
- графиков для определения предельной скорости по буксованию;
- графика для определения максимальной скорости по мощности;
- графиков сил и расхода топлива.

#### **Результаты**

Рассмотрим основные возможности, которые имеет разработанная имитационная модель привода автомобиля. Модель может быть использована для определения текущих параметров движения автомобиля при заданном значении мощности или же для подбора мощности двигателя, обеспечивающей достижение требуемой максимальной скорости с учетом условий движения.

Одной из особенностей модели является оперативное построение кривых внешней скоростной характеристики двигателя в режиме реального времени с отображением изменения расчетных параметров двигателя от требуемой максимальной скорости автомобиля, частоты вращения коленчатого вала, массы груза, от табличного значения



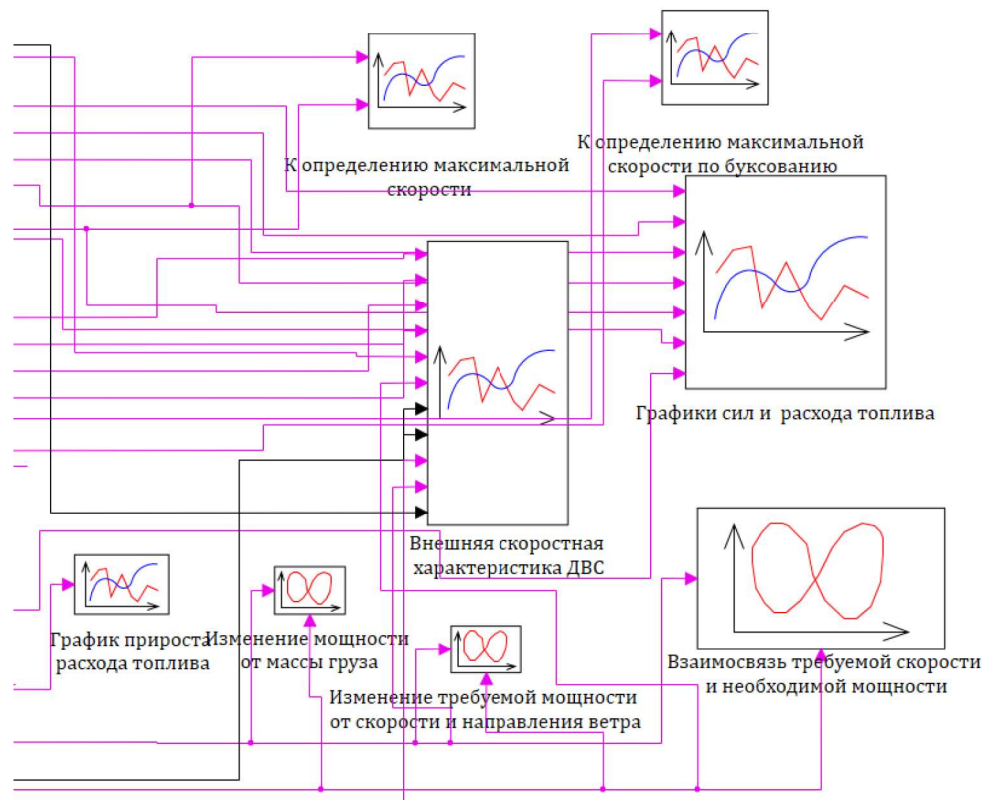


Рис. 3. Иллюстрационная часть модели

коэффициента сопротивления качению, продольного угла наклона дороги, скорости и направления ветра (рис. 4). Шкала времени на данном графике носит больше информативный характер и показывает время с начала расчета.

На рис. 4 видно, что изменение условий движения при неизменной максимальной требуемой скорости ведет к перестроению кривой потребной мощности и перерасчету кривых расхода топлива и крутящего момента. Для удобства просмотра соответствующих значений на графиках предусмотрена возможность использования курсора в области графика с просмотром значений по всем кривым в таблице. Также можно получить все данные в табличном виде для дальнейшей обработки. Например, для обеспечения максимальной скорости в 151 км/ч при нулевых значениях негативных факторов условий движения и максимальной загрузке необхо-

димая мощность двигателя равна 54,8 кВт. При наличии встречного ветра скоростью 15 м/с потребная мощность увеличивается до 75,3 кВт, попутный же ветер ведет к ее снижению до 29,8 кВт. Автомобиль без груза для достижения такой скорости должен иметь двигатель мощностью не менее 48,5 кВт.

При целенаправленном изучении зависимости требуемой мощности от требуемой максимальной скорости или скорости ветра, или массы груза можно открыть дополнительные графики.

Важным параметром автомобильного транспортного средства является его максимальная скорость, которая ограничивается мощностью двигателя и условиями движения. Для нахождения данной скорости в имитационной модели предусмотрено построение графиков суммарной силы сопротивления и колесной силы тяги. При превышении текущих значений суммарной

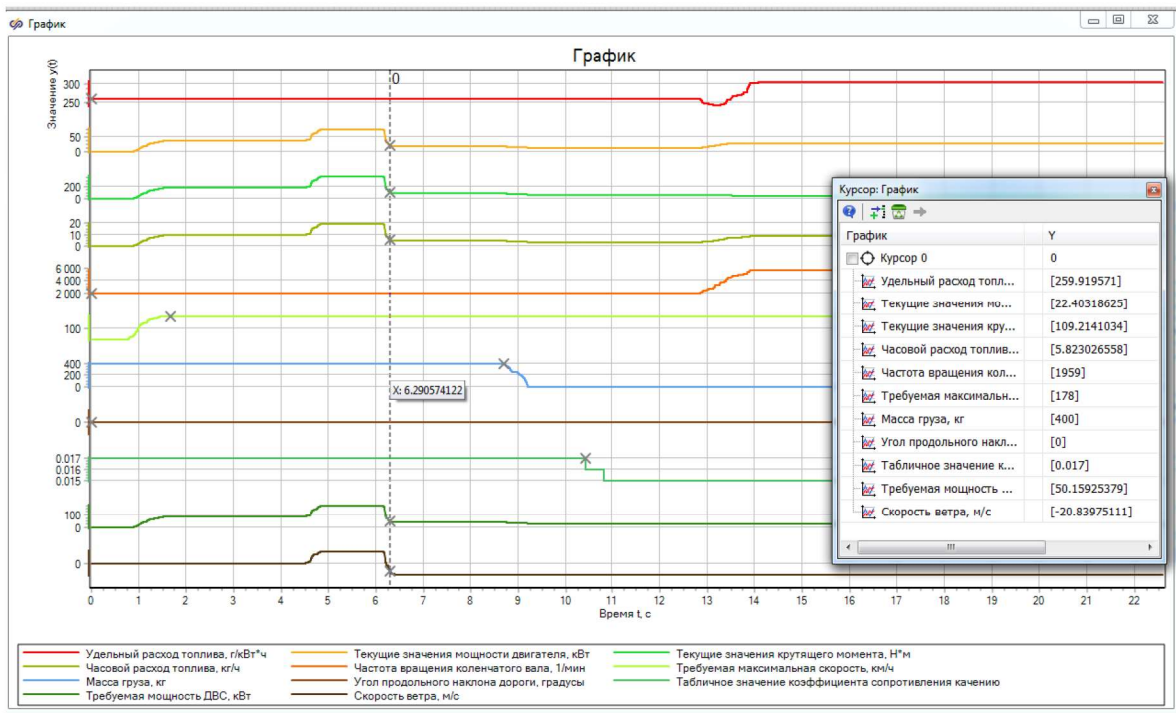


Рис. 4. Внешняя скоростная характеристика двигателя

силы сопротивления над колесной силой тяги дальнейшее увеличение скорости будет невозможно (рис. 5, точка пересечения графиков). Достигнув такого состояния, в расчетной части модели (см. рис. 2) смотрят соответствующие значения скорости. Меняя условия и режимы движения, можно определить значения данной скорости для различных их сочетаний.

Можно также установить возможность движения автомобиля с учетом условия буксования: если текущее значение динамического фактора превышает динамический фактор по сцеплению, то дальнейшее продвижение становится невозможным. Пересечение графиков (рис. 6) отражает момент перехода в режим буксования, позволяя определить минимальные значения коэффициента сцепления между ведущими колесами и дорожным покрытием, соответствующие им значения частоты вращения коленчатого вала, крутящего момента, мощности и скорости.

Разработанная модель привода позволяет выполнять численные эксперименты по установлению влияния условий и режимов движения на текущие значения эксплуатационных параметров транспортного сред-

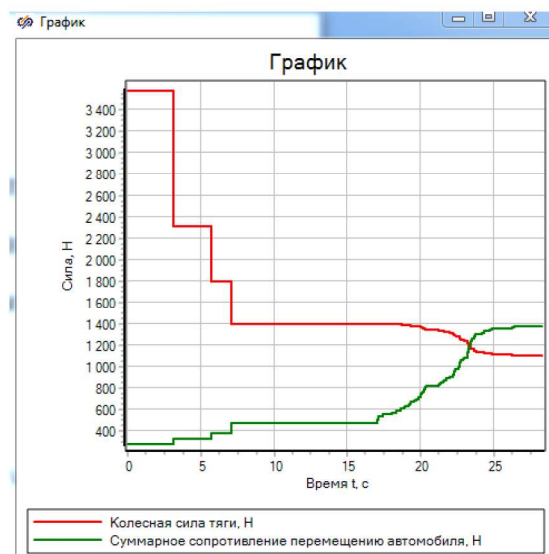


Рис. 5. Графики для определения максимальной скорости по мощности

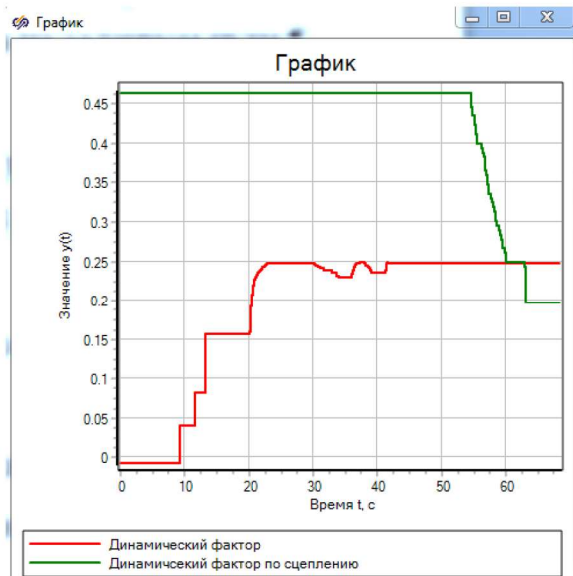


Рис. 6. График для определения возможности движения без буксования

ства [13, 15]. Для примера в рамках данной работы были проведены исследования, направленные на оценку целесообразности расчета интегрального расхода топлива с учетом переменных условий движения по уточненной методике. При выполнении моделирования были заложены характеристики автомобиля ВАЗ-2107<sup>2</sup> [13, 15]. Выбор данного транспортного средства обоснован доступностью всех его характеристик, необходимых для расчета, и не принципиален. Величина преодолеваемого пути была принята равной 50 км, автомобиль полностью загружен. Расчет велся для трех вариантов условий движения:

- первый (номинальный) — без учета скорости и направления ветра, наклона дороги;
- второй — попутный ветер (15 м/с) и движение под уклон (5°);
- третий — встречный ветер (15 м/с) и движение на подъеме (5°).

Режим изменения условий движения задавался следующим образом:

- для первого варианта: 50 км пути при нулевых значениях скорости ветра и угла наклона дороги;

- для второго варианта: 20 км пути — движение при максимальном попутном ветре, 10 км — движение в номинальном режиме, 20 км — движение при максимальном уклоне;

- для третьего варианта: 20 км пути — движение при максимальном встречном ветре, 10 км — движение в номинальном режиме, 20 км — движение при максимальном подъеме.

Переключение передач производилось на первом этапе, номер передачи устанавливался с учетом допустимой скорости по мощности и максимальному преодолеваемому углу наклона дороги, но не более 90 км/ч.

В результате моделирования было установлено, что расход топлива при номинальных условиях движения составил на заданном пути 4,12 л, при позитивном воздействии уклона и ветра — 3,47 л (на 15,8 % меньше номинального), а при негативных их значениях — 5,17 л (на 25,5 % больше номинального). Таким образом, учет условий движения позволяет получать более точные расчетные значения расхода топлива на заданном пути. Следует отметить, что данные значения получены по усредненным данным и характеристикам и требуют дополнительной оценки и корректировки.

### Выводы

Полученные предварительные результаты исследований и обзор возможностей разработанной имитационной модели привода, реализующей уточненную методику тягово-динамического расчета, говорят о перспективности ее использования при проведении исследований, направленных на совершенствование методик расчета эксплуатационных свойств автомобилей, а также конструкций самих транспортных средств. Использование любой модели не исключает проведение натуральных испытаний, позволя-

<sup>2</sup> Технические характеристики автомобиля Лада Ваз-2107. URL: <http://car-exotic.com/vaz-cars/vaz-lada-2107-characteristics.html> (дата обращения 15.02.2025).

ющих установить степень адекватности модели и произвести ее корректировку.

### Библиографический список

1. Сосфенов Д. А. Цифровой двойник: история возникновения и перспективы развития // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. № 4. С. 35–43.
2. Кокорев Д. С., Юрин А. А. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса // Colloquium-journal. 2019. № 10-2 (34). С. 101–104.
3. Вахламов В. К. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей. 2-е изд., стер. М.: Академия, 2009. 556 с.
4. Миронов Д. А., Ламм А. К., Расулов Р. К. Обзор программных продуктов разработки цифровых двойников // Вестник Национального института бизнеса. 2022. № 4 (48). С. 12–27.
5. Лыткин С. В. Обзорное исследование возможностей SIMINTECH // Modern Science. 2021. № 9-1. С. 174–179.
6. Клубничкин Е. Е. Моделирование мобильности колесных транспортных средств, оснащенных средствами повышения проходимости // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. 2023. № 1 (140). С. 84–96. DOI 10.46960/1816-210X\_2023\_1\_84.
7. Михайлов В. Г. О выборе моделей, средств для симулятора автомобиля со смешанной реальностью // Cifra. Информационные технологии и телекоммуникации. 2024. № 1 (1). DOI 10.18454/itech.2024.1.2.
8. Зубков Е. В., Корнилов Д. М., Орда А. С., Салин В. С. Автоматизация процесса испытаний дизельного двигателя с имитацией реальных условий вождения в среде SimInTech // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 5. С. 67–69.
9. Афоничев Д. Н., Пиляев С. Н. Компьютерное моделирование активной подвески транспортного средства с помощью программы SimInTech // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы нац. науч.-практ. конф. Воронеж, 19–21 апреля 2022 г. Ч. I. Воронеж: Воронежский гос. аграрный ун-т им. Императора Петра I, 2022. С. 24–37.
10. Юрина М. И. Разработка компьютерной модели автомобиля в программной среде SIMINTECH // World Science: Problems and Innovations: материалы XXVI Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 30 ноября 2018 г. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. Ч. 1. С. 116–122.
11. Драгунов Г. Д., Юсупов А. А. Оценка тягово-скоростных свойств автомобиля и результаты их экспериментального исследования // Науковедение. 2013. № 6 (19). С. 134.

12. Хольшев Н. В., Насонов С. И., Глазков В. Ю., Букина М. А. Разработка имитационной модели привода автомобиля в среде SimInTech // Техника и технология транспорта. 2024. Т. 32, № 1.

13. Насонов С. И., Хольшев Н. В., Букина М. А., Глазков В. Ю. Влияние скорости и направления воздушного потока на максимальную скорость автомобиля // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Липецк, 18–19 апреля 2024. Липецк: Липецкий гос. техн. ун-т, 2024. С. 294–298.

14. Хольшев Н. В., Милованов А. В., Глазков В. Ю., Коновалов Д. Н., Ведищев С. М., Прохоров А. В. Техника транспорта: тягово-динамический и топливно-экономический расчет. Тамбов: Издательский центр ТГТУ, 2023. 98 с.

15. Насонов С. И., Хольшев Н. В., Глазков В. Ю., Букина М. А. Влияние значения коэффициента сцепления на максимально возможную скорость автомобиля // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. Тамбов, 13–14 июня 2024 г. Тамбов: Тамбовский гос. техн. ун-т, 2024. С. 88–91.

### References

1. Sosfenov D. A. *Tsifrovoy dvoynik: istoriya vzniknoveniya i perspektivy razvitiya* [Digital twin: history of origin and development prospects]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii – Intelligence. Innovation. Investments*, 2023, pp. 4, pp. 35–43.
2. Kokorev D. S., Yurin A. A. *Tsifrovye dvoyniki: ponyatie, tipy i preimushchestva dlya biznesa* [Digital twins: concept, types and advantages for business]. *Colloquium-journal*, 2019, no. 10-2 (34), pp. 101–104.
3. Vakhlamov V. K. *Konstruktsiya, raschet i ekspluatatsionnye svoystva avtomobiley* [Design, calculation and operational properties of vehicles]. 2-nd ed., revised. Moscow, Akademiya Publ., 2009, 556 p.
4. Mironov D. A., Lamm A. K., Rasulov R. K. *Obzor programmnykh produktov razrabotki tsifrovyykh dvoynikov* [Review of software products for the development of digital twins]. *Vestnik Natsional'nogo instituta biznesa – National Institute of Business Bulletin*, 2022, no. 4 (48), pp. 12–27.
5. Lytkin S. V. *Obzornoe issledovanie vozmozhnostey SIMINTECH* [Review of SIMINTECH capabilities]. *Modern Science*, 2021, no. 9-1, pp. 174–179.
6. Klubnichkin E. E. *Modelirovanie mobil'nosti kolesnykh transportnykh sredstv, osnashchennykh sredstvami povysheniya prokhodimosti* [Modeling of mobility of wheeled vehicles equipped with cross-country

facilities]. *Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva – Proceedings of NSTU named after R. E. Alekseev*, 2023, no. 1 (140), pp. 84–96. DOI 10.46960/1816-210X\_2023\_1\_84.

7. Mikhaylov V. G. *O vybore modeley, sredstv dlya simulyatora avtomobilya so smeshannoy real'nost'yu* [On the choice of models, means for a car simulator with mixed reality]. *Cifra. Informatsionnye tekhnologii i telekommunikatsii – Cifra. Information Technology and Telecommunications*, 2024, no. 1 (1). DOI 10.18454/itech.2024.1.2.

8. Zubkov E. V., Kornilov D. M., Orda A. S., Salin V. S. *Avtomatizatsiya protsessa ispytaniy dizel'nogo dvigatelya s imitatsiyey real'nykh usloviy vozhdeniya v srede SimInTech* [Automation of the diesel engine testing process with simulation of real driving conditions in the SimInTech environment]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya – Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*, 2019, no. 5, pp. 67–69.

9. Afonichev D. N., Pilyaev S. N. *Komp'yuternoe modelirovanie aktivnoy podveski transportnogo sredstva s pomoshch'yu programmy SimInTech* [Computer modeling of the active suspension of a vehicle using the SimInTech program]. *Teoriya i praktika innovatsionnykh tekhnologiy v APK. Trudy nats. nauch.-prakt. konf. Voronezh, 19–21 aprelya 2022 g. Ch. I.* [Theory and practice of innovative technologies in the agro-industrial complex. Proceedings of the National scientific-practical conf., Voronezh, April 19–21, 2022, Part I]. Voronezh, Voronezhskiy gos. agrarniy un-t im. Imperatora Petra I Publ., 2022, pp. 24–37.

10. Yurina M. I. *Razrabotka komp'yuternoy modeli avtomobilya v programmnoy srede SIMINTECH* [Development of a computer model of a car in the SIMINTECH software environment]. World Science: Problems and Innovations. *Trudy XXVI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Penza, 30 noyabrya 2018 g.* [World Science: Problems and Innovations. Proceedings of the XXVI Int. scientific-practical conf., Penza, November 30, 2018]. Penza, MTsNS «Nauka i Prosveshchenie», 2018, Pt. 1, pp. 116–122.

11. Dragunov G. D., Yusupov A. A. *Otsenka tyagovo-skorostnykh svoystv avtomobilya i rezul'taty ikh eksperimental'nogo issledovaniya* [Assessment of the traction and speed properties of the car and the results of their experimental research]. *Naukovedenie – Science of Science*, 2013, no. 6 (19), 134 p.

12. Khol'shev N. V., Nasonov S. I., Glazkov V. Yu., Bukina M. A. *Razrabotka imitatsionnoy modeli privoda avtomobilya v srede SimInTech* [Development of a simulation model of a car drive in the SimInTech environment]. *Tekhnika i tekhnologiya transporta – Transport technology and technology*, 2024, vol. 32, no. 1.

13. Nasonov S. I., Khol'shev N. V., Bukina M. A., Glazkov V. Yu. *Vliyanie skorosti i napravleniya vozdušnogo potoka na maksimal'nuyu skorost' avtomobilya* [The influence of speed and direction of air flow on the maximum speed of the car]. *Infokommunikatsionnye i intellektual'nye tekhnologii na transporte: sb. st. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Lipetsk, 18–19 aprelya 2024* [Info-communication and intelligent technologies in transport. Proceedings of the International scientific-practical conf., Lipetsk, April 18–19, 2024]. Lipetsk, Lipetskiy gos. tekhn. un-t, 2024, pp. 294–298.

14. Khol'shev N. V., Milovanov A. V., Glazkov V. Yu., Kononov D. N., Vedishchev S. M., Prokhorov A. V. *Tekhnika transporta: tyagovo-dinamicheskii i toplivno-ekonomicheskii raschet* [Transport technology: traction-dynamic and fuel-economic calculation]. Tambov, Izdatel'skiy tsentr FGBOU VO TGTU, 2023, 98 p.

15. Nasonov S. I., Khol'shev N. V., Glazkov V. Yu., Bukina M. A. *Vliyanie znacheniya koeffitsienta stsepleniya na maksimal'no vozmozhnuyu skorost' avtomobilya* [Influence of the adhesion coefficient value on the maximum possible speed of the car]. *Ustoychivoe razvitiye regiona: arkhitektura, stroitel'stvo, transport. Trudy X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Tambov, 13–14 iyunya 2024 g.* [Sustainable development of the region: architecture, construction, transport. Proceeding of the X International scientific-practical. conf., Tambov, June 13–14, 2024]. Tambov, Tambov gos. tech. un-t, 2024, pp. 88–91.