

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ: ТЕОРИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, ПРОИЗВОДСТВО

УДК 629.3.017:629.3.018+629.3.027.3

DOI 10.46960/1816-210X_2026_1_67

EDN FRAEDB

СБОР ДАННЫХ О ДОРОЖНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОТОТИПА ОТЕЧЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ ДЛЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ УСКОРЕННЫХ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ЗАДАННОМ ЭКВИВАLENTE ПОВРЕЖДЕННОСТИ

В.А. Дианов

ORCID: 0009-0003-2460-0617 e-mail: vadianov@bmstu.ru

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Москва, Россия**А.И. Бокарев**

ORCID: 0000-0003-3617-2747 e-mail: bokarev@bmstu.ru

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Москва, Россия**И.В. Нескин**

ORCID: 0009-0006-9839-4854 e-mail: neskin@bmstu.ru

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Москва, Россия**Ф.К. Дьяков**

ORCID: 0009-0003-3041-9363 e-mail: f.dyakov@madi.ru

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Москва, Россия**Е.П. Мазур**

ORCID: 0009-0005-0436-7744 e-mail: egor.mazur@atom.team

АО «КАМА»
Москва, Россия

Представлен метод сбора и валидации экспериментальных данных о нагрузках, действующих на прототип отечественного электромобиля при его повседневной эксплуатации по дорогам общего пользования и в условиях форсированных испытаний на автополигоне. Описан процесс подготовки объекта исследований, включающий его инструментирование комплексом измерительного оборудования с соблюдением единой системы координат. Рассмотрена процедура одобрения записанных данных с использованием оригинального алгоритма, реализованного в виде скрипта, который выполняет автоматическую синхронизацию сигналов, визуализацию и проверку корректности данных по ряду заданных критериев. Разработанный программный инструмент позволил минимизировать время обработки результатов и снизить риск допущения ошибок при анализе. Полученные массивы данных о нагруженности несущей системы и подвески предназначены для последующего формирования циклов ускоренных ресурсных испытаний на полигоне с заданным эквивалентом поврежденности.

Ключевые слова: автомобиль; ресурсные испытания; дороги общего пользования; испытательный полигон; правила движения.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Дианов, В.А. Сбор данных о дорожной эксплуатации прототипа отечественного электромобиля для возможности проведения ускоренных ресурсных испытаний в заданном эквиваленте поврежденности / В.А. Дианов, А.И. Бокарев, И.В. Нескин, Ф.К. Дьяков, Е.П. Мазур // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2026. № 1. С. 67-84. DOI: 10.46960/1816-210X_2026_1_67 EDN: FRAEDB

COLLECTING ROAD OPERATION DATA OF DOMESTIC ELECTRIC VEHICLE PROTOTYPE FOR POSSIBILITY OF CONDUCTING ACCELERATED RESOURCE TESTS WITH GIVEN DAMAGE EQUIVALENT

V.A. Dianov

ORCID: **0009-0003-2460-0617** e-mail: **vadianov@bmstu.ru**

Bauman Moscow State Technical University

Moscow, Russia

A.I. Bokarev

ORCID: **0000-0003-3617-2747** e-mail: **bokarev@bmstu.ru**

Bauman Moscow State Technical University

Moscow, Russia

I.V. Neskin

ORCID: **0009-0006-9839-4854** e-mail: **neskin@bmstu.ru**

Bauman Moscow State Technical University

Moscow, Russia

F.K. Dyakov

ORCID: **0009-0003-3041-9363** e-mail: **f.dyakov@madi.ru**

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Moscow, Russia

E.P. Mazur

ORCID: **0009-0005-0436-7744** e-mail: **egor.mazur@atom.team**

JSC «KAMA»

Moscow, Russia

Abstract. This article presents a method for collecting and validating experimental data on loads acting on a prototype domestic electric vehicle during its daily operation on public roads and under accelerated test conditions on a proving ground. The process of preparing the test object is described, including its instrumentation with a set of measurement equipment while adhering to a unified coordinate system. A procedure for approving the recorded data using an original algorithm implemented as a script is considered. The script performs automatic signal synchronization, visualization, and correctness checks against a set of specified criteria. The developed software tool minimized data processing time and reduced the risk of errors in analysis. The obtained data arrays on the load of the vehicle's body and suspension systems are intended for the subsequent development of accelerated durability test cycles on the proving ground with a specified damage equivalent.

Key words: car; resource testing; public roads; proving ground; traffic rules.

FOR CITATION: V.A. Dianov, A.I. Bokarev, I.V. Neskin, P.K. Dyakov, E.P. Mazur. Collecting road operation data of domestic electric vehicle prototype for possibility of conducting accelerated resource tests with given damage equivalent. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2026. № 1. Pp. 67-84. DOI: 10.46960/1816-210X_2026_1_67 EDN: FRAEDB

Введение

Обязательным этапом проектирования нового автомобиля являются натурные испытания, в процессе которых важно оценить работу конструкции в широком спектре режимов движения. Одним из оцениваемых свойств является надежность автомобиля: проверяется фактический ресурс конструкции на основе экспериментально полученного цикла нагружения. Изучением ресурсных испытаний занимались как отечественные ученые (Н.Н. Яценко, С.Ф. Безверхний, Б.А. Куров, С.А. Лаптев, И.В. Балабин [1-4]), так и зарубежные: П. Йоханессон, М. Шпекерт [5]. Данная научная работа опирается на их опыт и является продолжением исследования [6]. Ее задачей является демонстрация практической реализации полуэмпирического метода оценки нагруженности.

Применение и анализ современных методов для разработки программ форсированных испытаний автомобиля, направленных на исследования долговечности отдельных групп деталей автомобиля, имеют особое значение для формирования баз данных, что в дальнейшем может позволить выстроить процесс проектирования и валидации шасси автомобилей еще более эффективно. Таким образом, раскрытие особенностей процесса сбора данных о дорожной эксплуатации автомобиля имеет практическую ценность и является актуальной темой для исследования.

Объект исследования

Объектом исследования в рамках данной работы является прототип отечественного электромобиля АТОМ (рис. 1). Параметры объекта исследования кратко приведены в табл. 1.



Рис. 1. Прототип отечественного электромобиля «АТОМ»

Fig. 1. Prototype of the domestic electric vehicle «ATOM»

Таблица 1.
Параметры испытываемого электромобиля

Table 1.
Tested electric vehicle parameters

Основные параметры автомобиля	Ед. изм.	Передняя подвеска	Задняя подвеска
Масса автомобиля	[кг]	1930	
Распределение массы	[кг]	909	1021
Высота центра масс	[мм]	587	
Колея	[мм]	1550	1530
Колесная база	[мм]	2635	
Статический продольный угол наклона оси поворота	[°]	5,54	–
Статический поперечный угол наклона оси поворота	[°]	14,67	–
Статический угол развала	[°]	-0,211	-1,478
Статический угол схождения	[°]	0,029	0,187
Статический радиус колеса	[мм]	311	307

Подготовка к испытаниям

Процесс подготовки к испытаниям представлен в формате блок-схемы на рис. 2. Он определяет основу для получения достоверных и воспроизводимых результатов. Проверка на техническую исправность и соответствие спецификации является базовым, но одним из самых важных этапов. Необходимо убедиться, что испытываемый автомобиль находится в исправном техническом состоянии и идентичен спецификации в части упругих и демпфирующих элементов, элементов несущей системы и подвески, базовых алгоритмов работы систем и актуальности калибровок систем шасси и трансмиссии. Требуется провести контроль и заправку испытываемого автомобиля технологическими жидкостями, а также проконтролировать и выставить углы установки колес (в снаряженном состоянии) в соответствии с требованиями спецификации. Любая неисправность или отклонение от спецификации может сделать все последующие испытания бесполезными, так как их результаты будут некорректными и несопоставимыми, поскольку каждый из исследуемых параметров влияет на поведение автомобиля при эксплуатации.

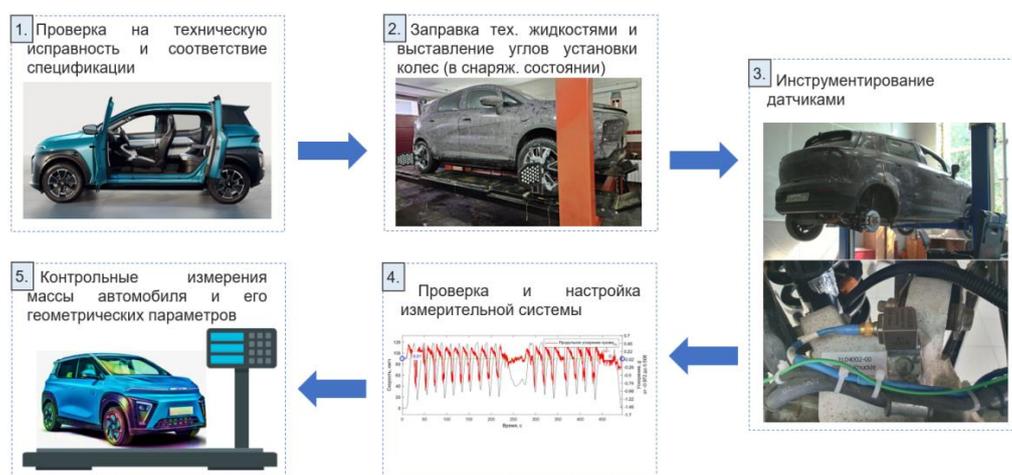


Рис. 2. Блок-схема подготовки объекта исследования к испытаниям

Fig. 2. Flow chart of preparation of the research object for testing

На время испытаний автомобиль оснащается измерительным оборудованием. В предыдущей работе [6] авторы статьи описывали вопрос инструментирования автомобиля необходимым измерительным оборудованием для подготовки к испытаниям, поэтому на базе данной информации в табл. 2 представлен перечень измерительной аппаратуры, которым оснащался объект исследования.

Таблица 2.
Список установленного измерительного оборудования

Table 2.
List of installed measuring equipment

№	Оборудование	Характеристика	Место установки	Количество аналоговых каналов	Частота сбора данных, Гц	Примечания
1. Система сбора данных						
1.1	Кронос Флекс	Базовый блок сбора данных	Салон автомобиля	16	200	
1.2	Модуль Т-10	Модуль расширения на 10 термопар	Салон автомобиля	10	200	

Продолжение табл. 2.
Список установленного измерительного оборудования

Table 2 continued.
List of installed measuring equipment

№	Оборудование	Характеристика	Место установки	Количество аналоговых каналов	Частота сбора данных, Гц	Примечания
1.3	Модуль УТИ-6	Модуль расширения на 6 аналоговых каналов	Салон автомобиля	6	200	
2. Левое переднее колесо						
2.1	Датчик ускорения трехосевой	Kistler Type 8396A ± 50 G	Кулак левого переднего колеса	3	200	3 оси - X Y Z
2.2	Тензодатчики на пружину	2 датчика QFCT-2-350-11	Пружина левое переднее колесо	1	200	Значение в [кН]
2.3	Датчик перемещения	LVDT RL50-G-KR-X0fc9	Левое переднее колесо	1	200	Значение в [мм]
3. Правое заднее колесо						
3.1	Датчик ускорения трехосевой	Kistler Type 8396A ± 50 G	Кулак правого заднего колеса	3	200	3 оси - X Y Z
3.2	Тензодатчики на пружину	2 датчика QFCT-2-350-11	Пружина правое заднее колесо	1	200	Значение в [кН]
3.3	Датчик перемещения	LVDT RL50-G-KR-X0fc9	Правое заднее колесо	1	200	Значение в [мм]
4. Подвеска автомобиля						
4.1	Термопары	Термопары тип К	Амортизаторы автомобиля+ наружная температура	5	10	Значение в °С
5. Кузов автомобиля						
5.1	Датчик ускорения трехосевой	Kistler Type 8396A ± 50 G	Левая передняя часть кузова	3	200	3 оси - X Y Z
5.2	Датчик ускорения трехосевой	Kistler Type 8396A ± 50 G	Правая передняя часть кузова	3	200	3 оси - X Y Z
5.3	Датчик ускорения трехосевой	Kistler Type 8396A ± 50 G	Левая задняя часть кузова	3	200	3 оси - X Y Z
5.4	Датчик ускорения трехосевой	Kistler Type 8396A ± 50 G	Правая задняя часть кузова	3	200	3 оси - X Y Z
5.5	Иннерциальный модуль	Сенсорика, данные по шине CAN	Центральная консоль автомобиля, место указывает заказчик	0	50	3 оси ускорения и 3 оси вращения

Окончание табл. 2.
Список установленного измерительного оборудования

Table 2 terminated.
List of installed measuring equipment

№	Оборудование	Характеристика	Место установки	Количество аналоговых каналов	Частота сбора данных, Гц	Примечания
6. Цифровые шины автомобиля						
6.1	Каналы сбора данных с шины CAN автомобиля	EPT Can, Chassis Can	Разъем OBD 1, Шины CAN3 и CAN4	0	50	
6.2	Угол поворота рулевого колеса	CAN шина		1	50	
6.3	Скорость	CAN шина		1	100	
6.4	Путь	CAN шина		1	50	
6.5	Момент крутящий двигателя	CAN шина		1	100	
6.6	Частота вращения двигателя	CAN шина		1	50	
6.7	Положение педали акселератора	CAN шина		1	50	
6.8	Положение педали тормоза	CAN шина		1	50	
6.9	GPS	Garmin, штатный датчик системы сбора данных	Крыша автомобиля	0	5	Широта, долгота, скорость, путь

Процесс оснащения испытываемого автомобиля датчиками показан на рис. 3.

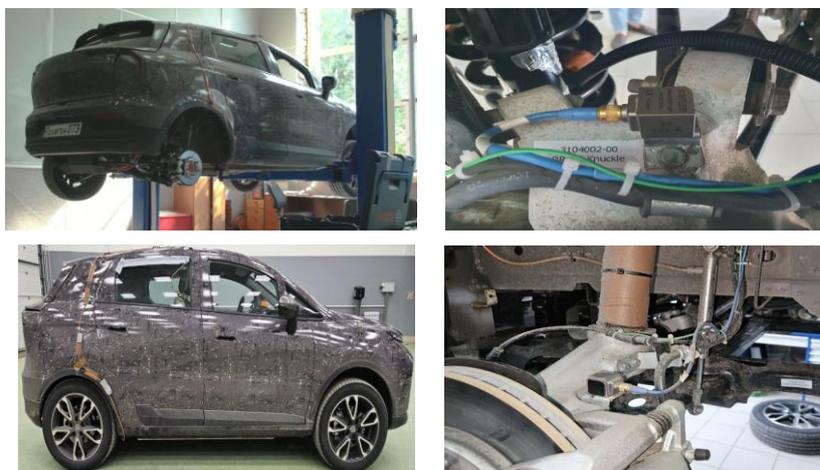


Рис. 3. Иллюстрация процесса инструментирования объекта исследования

Fig. 3. Illustration of the process of instrumentation of the research object

В соответствии с отечественными [7-11] и зарубежными [12-15] работами, оценку нагруженности возможно проводить с помощью трехосевых датчиков ускорений, установленных на подрессоренных и неподрессоренных массах в наиболее нагруженных местах их соединений. Данные, собранные измерительным оборудованием во время испытаний, впоследствии могут быть использованы для оценки не только нагруженности, но и, например, плавности хода объекта исследования. Также они могут быть применимы для последующих стендовых испытаний – например, испытания кузова в составе автомобиля на четырехопорном гидравлическом стенде. При использовании записываемых данных в математическом моделировании спектр применимости является неограниченным, поскольку область применения значительно расширяется в совокупности с инструментарием и функционалом математических моделей. Для удобства обработки результатов испытаний специальные требования предъявляются к системе координат измерительных датчиков. Датчики должны быть ориентированы в соответствии с системой координат на рис. 4.

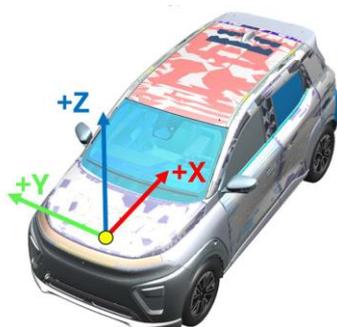


Рис. 4. Требования к системе координат датчиков

Fig. 4. Requirements for the sensor coordinate system

Перед проведением работ проверяется исправное техническое состояние объекта исследования и общая конфигурация автомобиля. На протяжении всего цикла испытаний она должна быть неизменной как на дорогах общего пользования, так и на дорогах полигона. Перечень контролируемых параметров:

- комплект и состояние установленных упругих и демпфирующих элементов;
- комплекты и состояние резинометаллических шарниров;
- комплект и состояние шин;
- давление в шинах;
- статические углы установки колес;
- весовое состояние автомобиля.

Перед испытанием фиксируются массово-геометрические параметры инструментированного автомобиля:

- масса и распределение массы;
- высота центра масс;
- дорожный просвет (положение каждого колеса относительно кузова);
- колея спереди и сзади;
- колесная база слева и справа.

На протяжении всего периода испытаний контролируется исправное техническое состояние объекта исследования, его компонентов, систем и измерительного оборудования. Массовое состояние инструментированного автомобиля, на котором проводятся испытания, является промежуточным между снаряженной и полной загрузкой, что для целей сравнительного анализа нагруженности является консервативным решением. Также одним из допущений по состоянию автомобиля является изменение массы автомобиля во время испытаний в зависимости от расхода технических жидкостей.

Процедура одобрения записанных данных по результатам испытаний

Очень важна гарантия точности и достоверности записываемых данных. В связи с этим, в течение этапа подготовки и предварительного тестирования функционирования измерительного комплекса авторами разработана процедура одобрения результатов испытаний. Блок-схема данной процедуры проиллюстрирована на рис. 5.



Рис. 5. Блок-схема процедуры одобрения записанных данных

Fig. 5. Flow chart of the procedure for approval of recorded data

Основу процедуры одобрения результатов испытаний составляет оригинальная программная реализация обработки данных. Программа представляет собой написанный скрипт в среде «MATLAB», выводящий записанные данные по всем каналам в виде графиков, по которым производилась оценка адекватности результатов, что существенно ускоряет процесс обработки результатов испытаний. Проверка выполнялась по критериям:

- сигнал не пишется;
- ошибка синхронизации;
- некорректная полярность;
- некорректные величины;
- дрейф сигнала;
- некорректная частота записи;
- наличие «выколотых точек»
- и прочие типовые ошибки.

Реализованный скрипт обладает функцией прекращения выполнения программы с определением датчика с некорректно записанными данными. Причина ошибки выявляется и фиксируется программой, а результат одобрения / неодобрения файла записи в качестве информации для принятия дальнейших действий выводится оператору. При неодобрении файла записи программа фиксирует критерий несоответствия, который также сообщается оператору, что служит сигналом необходимости проверки измерительной системы и повторной записи параметров в процессе проведения испытаний.

В данном исследовании были использованы измерительные устройства с различной частотой записи (табл. 2). Из-за разной частоты записи массивы данных имеют различную длину и разбросаны по времени. Таким образом, возникает необходимость синхронизации показателей датчиков для удобства обработки результатов эксперимента.

В основе алгоритма написанного скрипта заложены следующие этапы:

- 1) определение времени записи для датчиков с разной частотой записи;

- 2) синхронизация показаний датчиков во временной области;
 - 3) визуализация записанных показаний для определения корреляционных зависимостей.
- Блок-схема алгоритма работы скрипта в программе «MATLAB» показана на рис. 6.

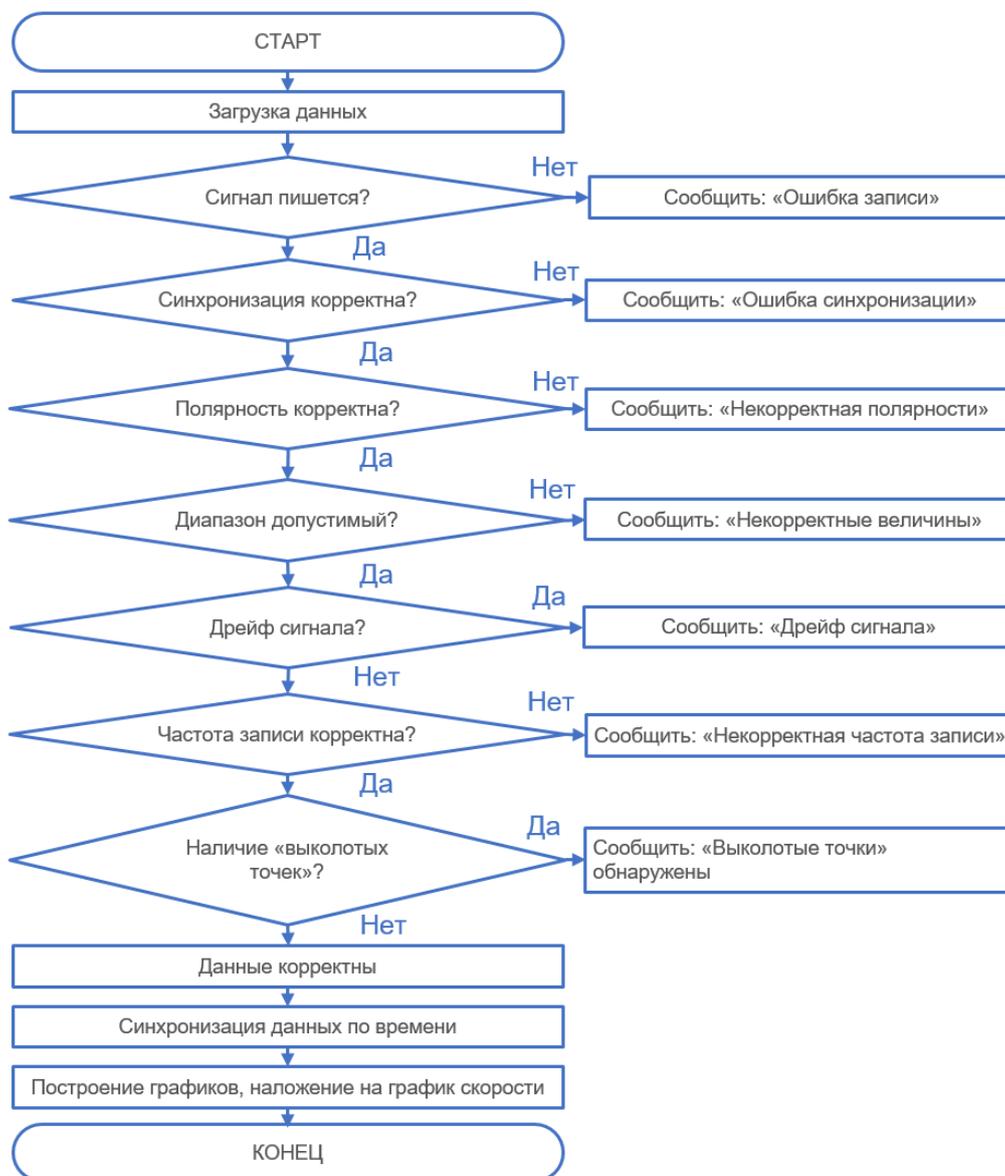


Рис. 6. Блок-схема алгоритма скрипта

Fig. 6. Flow chart of the script algorithm

Фрагменты листинга скрипта в программе «MATLAB» показаны на рис. 7. Представленная программная реализация решает задачу итеративного многоуровневого процесса верификации данных с обратной связью, которая направлена на обеспечение надлежащего качества и достоверности экспериментальных данных.

Проведение испытаний

1. Испытания на дорогах общего пользования

Для исследования режимов движения при повседневной эксплуатации выбирается маршрут, пролегающий по дорогам общего пользования.

При составлении маршрута исходными данными являются заданные производителем соотношения по распределению пробега по разным типам дорог. Также производителем задается целевой ресурс в км пробега (например, 200 тыс. км) или моточасах. Для автомобилей различного назначения соотношение типов дорог может меняться. В табл. 3 приведены данные распределения пробега по разным типам дорог для объекта исследования, заложенные производителем.

Таблица 3.
Распределение пробега по разным типам дорог объекта исследования

Table 3.
Distribution of research object's mileage across different types of roads

Тип дороги	% пробега
Городские дороги	64
Пригородные дороги	20
Трассы	16

Маршруты записываются разными водителями с целью исключить погрешность на стиль вождения конкретного водителя. Каждый маршрут записывается несколько раз и в разное время суток для получения усредненного результата в условиях изменяющегося дорожного трафика. Один водитель проезжает круг в обе стороны, а длина круга может быть любой. Схема для расчета количества испытаний показана на рис. 8.

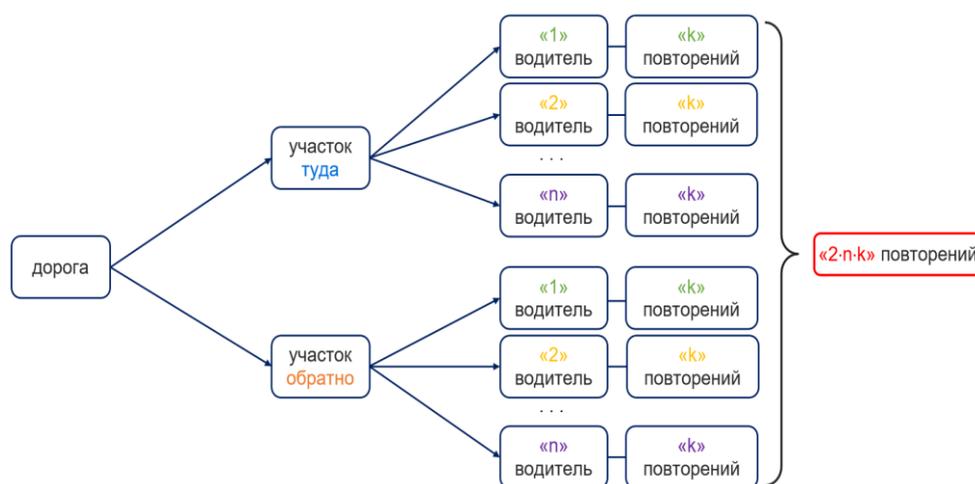


Рис. 8. Схема для расчета количества испытаний

Fig. 8. Scheme for calculating the number of tests

Для объекта исследования ввиду ограничения времени составлен один вариант маршрута, соответствующий распределению пробега по дорогам общего пользования, указанному в табл. 3. Маршрут в обе стороны прошли три водителя. Таким образом, получилось шесть файлов записи прохождения выбранного маршрута, схема которого представлена на рис. 9.

2. Испытание на дорогах полигона

Сбор нагрузок объекта исследования в режиме форсированной эксплуатации проводились на территории полигона НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ». Для испытаний выбраны характерные участки дорог автополигона, показанные на схеме на рис.10. Укрупненно показаны специальные испытательные дороги (3), стрелками обозначено разрешенное направление движения.

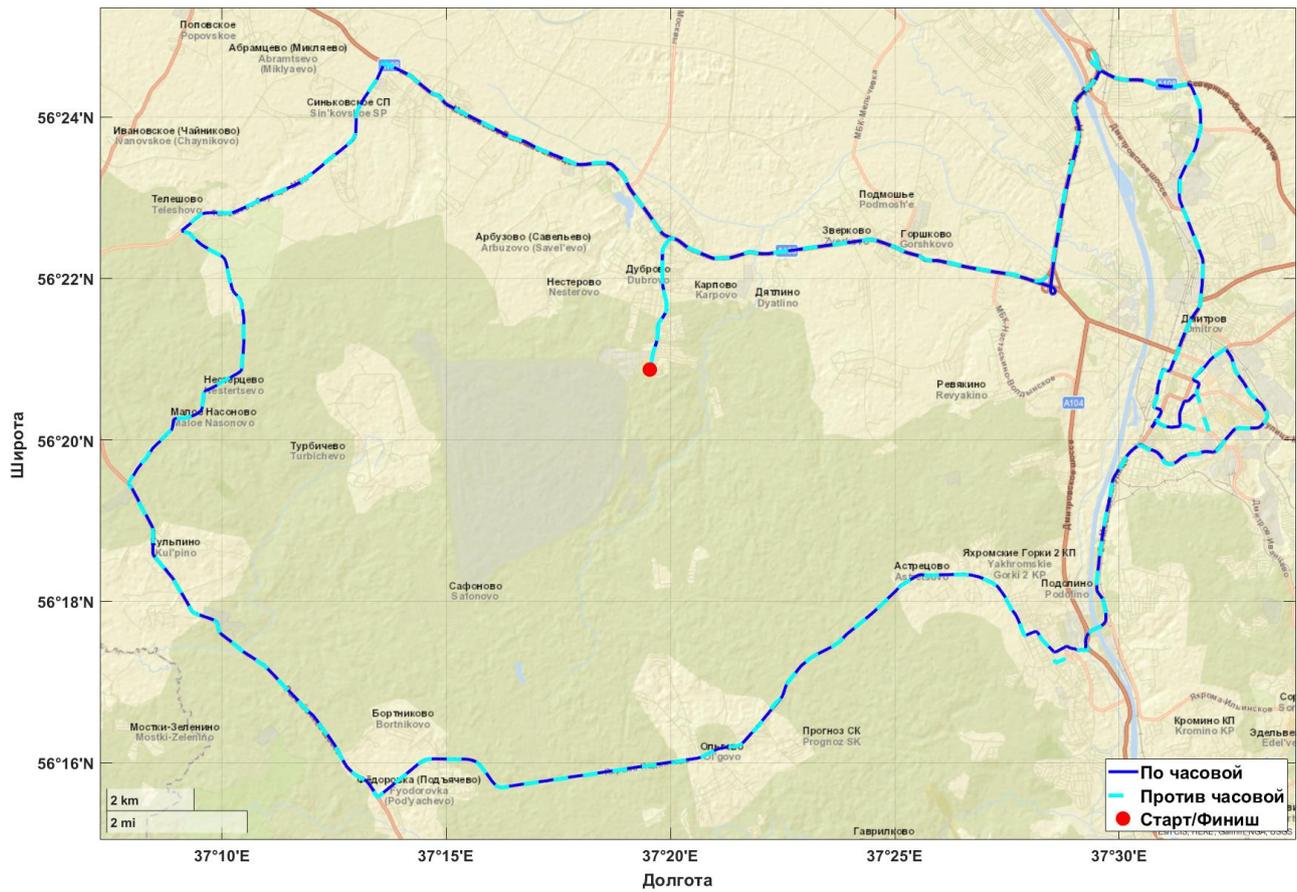


Рис. 9. Схема выбранного маршрута по дорогам общего пользования

Fig. 9. Scheme of the selected route on public roads



Рис. 10. Схема дорог автополигона НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ»

Fig. 10. Road map of the NICIAMT FSUE «NAMI» proving ground

Список режимов движения на различных дорогах приведен в табл. 4.

Таблица 4.
Типы дорог и режимы для проведения испытаний на полигоне

Table 4.
Road types and modes for testing at the proving ground

№	Наименование дороги	Описание режима	Количество повторений
1	Динамометрическая платформа	Циклы режимов движения «максимальный разгон» до 120 км/ч – «максимальное торможение» до 20 км/ч	1
2	Горная дорога	Движение на максимальной скорости (45- 55 км/ч) по часовой стрелке и против часовой стрелки	8 (4+4)
3	Бельгийская мостовая дорога	Движение с максимальной комфортной для водителя скоростью (15-20 км/ч)	4
	Короткая волна	Движение на некомфортной резонансной скорости (15-20 км/ч)	4
	Ровная булыжная дорога	Движение на некомфортной резонансной скорости (20-25 км/ч)	4
4	Круглая восточная испытательная площадка	Маневр «Восьмерка» по часовой стрелке и против часовой стрелки. Маневр начинается со скорости 40 км/ч, скорость в процессе выполнения может снижаться до 25 км/ч	8 (4+4)

Выбор описанных выше дорог и режимов нагружения обусловлен соответствием участка дороги предмету испытаний (ресурсные испытания и нагруженность), классу автомобиля, возможности форсированной эксплуатации на данных участках дорог, а также потенциальной возможности на следующих этапах составить замкнутый цикл форсированной эксплуатации. Типы дорог полигона, не подходящие для испытаний в рамках данной работы, и их особенности кратко указаны в табл. 5.

Таблица 5.
Типы дорог, не подходящие для испытаний разрабатываемого электромобиля

Table 5.
Road types unsuitable for testing the electric vehicle under development

№	Наименование дороги	Особенности
5	Скоростная дорога	Вносят малый вклад в нагруженность несущих элементов ходовой части автомобиля в рамках форсированной эксплуатации
6	Грунтово-равнинная дорога	Предназначены для испытания других классов автомобилей и чрезмерно нагружают исследуемый автомобиль
7	Мощеная дорога	
8	Грунтово-испытательная дорога	Предназначены для испытаний параметров, не являющихся предметом исследования данной работы
9	Трек со сменными неровностями	
10	Щебеночная дорога	

На рис. 11 схематично показано распределение участков дорог относительно нагрузки, которую они передают на исследуемый автомобиль.

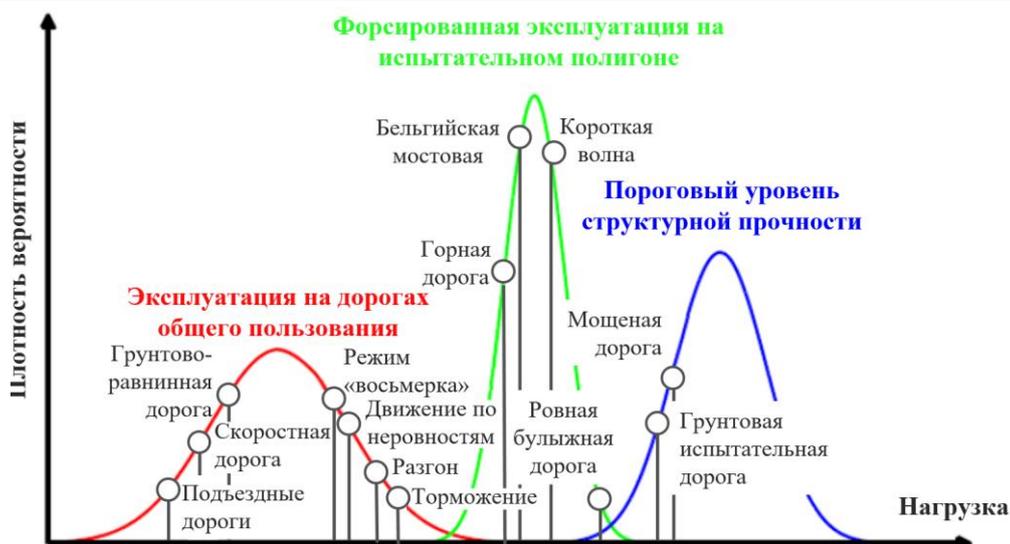


Рис. 11. Распределение участков дорог полигона по критерию нагрузки на автомобиль

Fig. 11. Distribution of test site proving ground road sections according to vehicle load criteria

По результатам работ удалось записать режимы движения, указанные в табл. 4. Данный набор режимов впоследствии планируется в полном или частичном объеме использовать для создания замкнутого форсированного маршрута или маршрутов. Поврежденность несущей системы и реализация режима очень зависят от условий эксплуатации. На дорогах общего пользования запись проводится только в сухую погоду, чтобы наработать консервативную более интенсивную эксплуатацию в сравнении с мокрым асфальтом. В случае с режимами на испытательном полигоне – поскольку ресурсные испытания впоследствии будут проводиться ежедневно на протяжении длительного периода времени – существует риск, что асфальт в какой-то из дней окажется мокрым. В связи с этим предусмотрена запись режимов на дорогах испытательного полигона при мокром асфальте, чтобы впоследствии при обработке данных была возможность учитывать коррекцию коэффициента усиления. В процессе проведения записи режимов на испытательном полигоне также учитывались:

- уровень форсированности режимов оптимальный, чтобы впоследствии водитель-испытатель смог без вреда для здоровья проводить испытания целую смену (оптимальность определяется на основе опыта водителя-испытателя при условиях соблюдения правил дорожного движения на полигоне);
- движение по специальным дорогам (3) из табл. 4 происходило по правилам дорожного движения полигона (разрешено эксплуатировать автомобиль на данных дорогах только в одном направлении движения);
- регистрация подъездных дорог при движении от одного специального участка полигона к другому, а также при движении из бокса к испытательным участкам и обратно (е поврежденности от движения по подъездным дорогам необходим для оценки нагруженности на следующем этапе работ);
- запись режимов движения по горной дороге (2) из табл. 4 проводилась при движении по часовой стрелке и против-часовой стрелки (по правилам полигона в четные дни месяца на горной дороге разрешено движение по часовой стрелке, в нечетные – против часовой, дополнительно учитывались возможности водителя испытателя по повторяемости режима движения по горной дороге – установлено оптимальная повторяемость в количестве 8-11 раз).

В качестве примера работы программы проверки записанных данных на рис. 12 представлены графики показаний датчиков для маршрута на дорогах общего пользования. Представлена часть от общего количества отображаемых результатов в виде графиков зависимостей, а именно:

- маршрут по GPS в координатах плоскости дороги от времени;
- угол поворота рулевого колеса от времени;
- ускорение автомобиля по GPS (продольное) от времени;
- высота по GPS от времени;
- угол поворота рулевого колеса от времени;
- усилия в пружинах от времени;
- хода колес от времени.

В соответствии с процедурой, описанной на рис. 6, вывод графиков означает одобрение файла записи и отсутствие ошибок.

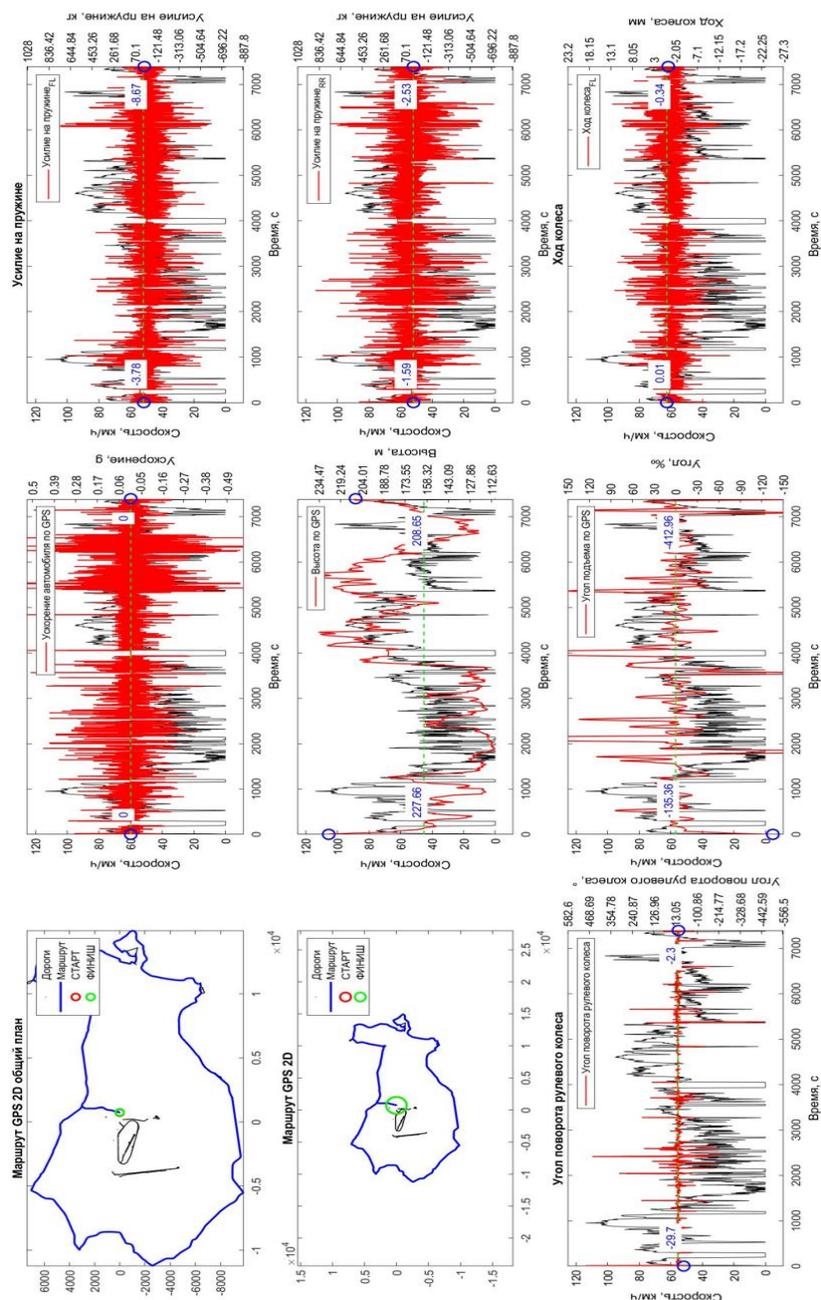


Рис. 12. Иллюстрация результата процедуры одобрения результатов испытаний для файла записи маршрута на дорогах общего пользования (рис. 7)

Fig. 12. Illustration of the result of the test results approval procedure for a route recording file on public roads (fig. 7)

Настоящая работа посвящена сбору и проверке данных испытаний на дорогах общего пользования и дорогах полигона для последующего исследования по критерию нагруженности, что определяет достижимость цели работы. В дальнейшем планируется разработка методики обработки записанных данных для построения закольцованных маршрутов с эквивалентной поврежденностью при сравнении с эксплуатацией на дорогах общего пользования, а также ее применение для представленных данных испытаний. Данная работа является частью большого исследования по созданию технологии формирования маршрутов ускоренной эксплуатации на испытательном полигоне и является наиболее практически значимой его частью, которой отводится главная роль.

Выводы

Проведен сбор данных о дорожной эксплуатации прототипа отечественного электромотоцикла на дорогах общего пользования и дорогах испытательного полигона НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» для возможности формирования маршрутов ускоренных ресурсных испытаний в заданном эквиваленте поврежденности на следующем этапе работы.

Полученный массив данных прошел процедуру проверки с использованием оригинальной программной реализации обработки данных (написанный скрипт), что позволило:

- сократить время обработки данных результатов испытаний до 100 %;
- обеспечить программную синхронизацию данных из шины данных автомобиля (CAN) и датчиков измерительного оборудования;
- визуализировать записываемые данные в читаемом формате для визуального анализа и определения корреляционных зависимостей параметров;
- в автоматическом режиме определять ошибки записываемых данных за счет построения корреляционных зависимостей.

Проведенное практическое исследование и объяснение основных процессов и этапов сбора эксплуатационных нагрузок полумпирическим методом имеет практическую ценность для инженеров и исследователей, занимающихся ускоренными испытаниями автомобилей, автомобильных компонентов и систем.

Библиографический список

1. **Яценко, Н.Н.** Ресурсные испытания грузовых автомобилей на автополигоне. Ч. 1: Развитие, условия и статистическая интерпретация результатов; Ч. 2: Основы форсирования и оптимального планирования испытаний / Н.Н. Яценко, Е.И. Бурдасов, Р.А. Розов [и др.]. – М.: НИИ Автопром, 1974.
2. **Яценко, Н.Н.** Форсированные полигонные испытания грузовых автомобилей. – М.: Машиностроение, 1984. – 328 с.
3. **Безверхий, С.Ф.** Основы технологии полигонных испытаний и сертификация автомобилей / С.Ф. Безверхий, Н.Н. Яценко. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 566 с.
4. **Куров, Б.А.** Испытания автомобилей / Б.А. Куров, С.А. Лаптев, И.В. Балабин. – М.: Машиностроение, 1976. – 208 с.
5. **Johannesson, P.** Guide to Load Analysis for Durability in Vehicle Engineering / P. Johannesson, M. Speckert – Ch.: Wiley, 2014. – 458 p.
6. **Дианов, В.А.** Анализ проблемы разработки методики ускоренных испытаний автомобиля / В.А. Дианов, А.И. Бокарев, Ф.К. Дьяков [и др.]. // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. – 2025. – № 2 (100). Сетевое издание. URL.: <https://kpfu.ru/nomer-4-102-za-2025-god-478246.html> (дата обращения 5.09.2024).
7. **Степанов, Е.В.** Оценка адекватности модели легкого коммерческого автомобиля при исследовании плавности хода / Е.В. Степанов, А.А. Васильев, Д.А. Бутин [и др.]. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2021. – № 4. – С. 110-118. – DOI: 10.46960/1816-210X_2021_4_110.
8. **Степанов, Е.В.** Снижение вибронгруженности коммерческих автомобилей за счет применения упругодемпфирующих устройств подвески на основе эластомерных материалов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2022. – № 1. – С.148-163. – DOI: 10.46960/1816-210X_2022_1_148

9. **Дубровский, А.Ф.** Оценка эффективности пневматической подвески автобуса / А.Ф. Дубровский, Р.А. Закиров, С.В. Косолапов [и др.]. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2024. – Т. 24, № 3. – С. 75-85. – DOI: 10.14529/engin240307
10. **Ерёмина, И.В.** Обеспечение плавности хода при проектировании легкового автомобиля с учетом влияния потерь на трение в подвеске: автореферат дис. ... к-та тех. наук. – Тольятти, 2008. – 27 с.
11. **Яценко, Н.Н.** Плавность хода грузовых автомобилей / Н.Н. Яценко, О.К. Прутчиков. – М.: Машиностроение, 1968 – 220 с.
12. **Prażnowski, K.** Assessment of the Road Surface Condition with Longitudinal Acceleration Signal of the Car Body / Prażnowski, K. [et al]. // Sensors. – 2020. – 20. 10.3390/s20215987.
13. **Burdzik, R.** Impact and Assessment of Suspension Stiffness on Vibration Propagation into Vehicle / R. Burdzik // Sensors. – 2023. – No 23. – 1930. – <https://doi.org/10.3390/s23041930>.
14. **Lu, Yongjie.** Numerical and experimental investigation on stochastic dynamic load of a heavy duty vehicle / Y. Lu, Y. Shaopu, Li, Shaohua [et al]. // Applied Mathematical Modelling. – 2010. – 34. – P. 2698-2710. 10.1016/j.apm.2009.12.006.
15. **Siringoringo, D.** Estimating Bridge Fundamental Frequency from Vibration Response of Instrumented Passing Vehicle / D. Siringoringo, F. Yozo // Analytical and Experimental Study. Advances in Structural Engineering. – 2012. – 15. – P. 417-433. 10.1260/1369-4332.15.3.417.

References

1. Yatsenko N.N., Burdasov E.I., Rozov R.A., et al. Resursnye ispytaniya gruzovykh avtomobiley na avtopoligone. Ch. 1: Razvitie, usloviya i statisticheskaya interpretatsiya rezultatov; Ch. 2: Osnovy forsirovaniya i optimal'nogo planirovaniya ispytaniy [Endurance testing of trucks at the proving ground. P. 1: Development, conditions and statistical interpretation of results; P. 2: Fundamentals of acceleration and optimal test planning]. Moscow: NII Avtoprom; 1974 (in Russian).
2. Yatsenko N.N. Forsirovannye poligonnye ispytaniya gruzovykh avtomobiley [Accelerated proving ground tests of trucks]. 2nd ed., revised and updated. Moscow: Mashinostroenie; 1984. 328 p. (In Russian).
3. Bezverkhy S.F., Yatsenko N.N. Osnovy tekhnologii poligonnykh ispytaniy i sertifikatsiya avtomobiley [Fundamentals of proving ground test technology and certification of automobiles]. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 1996. 566 p (in Russian).
4. Kurov B.A., Laptev S.A., Balabin I.V. Ispytaniya avtomobiley [Testing of automobiles]. Moscow: Mashinostroenie; 1976. 208 p. (In Russian).
5. Johannesson P., Speckert M. Guide to Load Analysis for Durability in Vehicle Engineering. Ch.: Wiley; 2014. 458 p.
6. Dianov V.A., Bokarev A.I., Dyakov F.K., et al. Analiz problemy razrabotki metodiki uskorennykh ispytaniy avtomobilya [Analysis of the problem of developing a methodology for accelerated vehicle testing]. Sotsial'no-ekonomicheskie i tekhnicheskie sistemy: issledovanie, proektirovanie, optimizatsiya. 2025;(2): [about 10 p.]. Available from: <https://kpfu.ru/nomer-4-102-za-2025-god-478246.html> [accessed 2024 Sep 5] (in Russian).
7. Stepanov E.V., Vasiliev A.A., Butin D.A., et al. Otsenka adekvatnosti modeli legkogo kommercheskogo avtomobilya pri issledovanii plavnosti khoda [Evaluation of the adequacy of a light commercial vehicle model in ride comfort studies]. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva [Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev]. 2021;(4):110-118. doi: 10.46960/1816-210X_2021_4_110 (in Russian).
8. Stepanov E.V. Snizhenie vibronagruzhennosti kommercheskikh avtomobiley za schet primeneniya uprugodempfiruyushchikh ustroystv podveski na osnove elastomernykh materialov [Reducing vibration loads on commercial vehicles through the use of elastic-damping suspension devices based on elastomeric materials]. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva [Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev]. 2022;(1):148-163. doi: 10.46960/1816-210X_2022_1_148 (in Russian).
9. Dubrovsky A.F., Zakirov R.A., Kosolapov S.V., et al. Otsenka effektivnosti pneumaticheskoy podveski avtobusa [Evaluation of the efficiency of a bus air suspension]. Vestnik YuUrGU. Seriya «Mashinostroenie» [Bulletin of SUSU. Series «Mechanical Engineering»]. 2024;24(3):75-85. doi: 10.14529/engin24030 (in Russian).
10. Eremina I.V. Obespechenie plavnosti khoda pri proektirovanii legkovogo avtomobilya s uchetom vliyaniya poter' na trenie v podveske [Ensuring ride smoothness in passenger car design considering the influence of friction losses in the suspension] [dissertation abstract]. Togliatti; 2008. 27 p. (in Russian).

11. Yatsenko N.N., Prutchikov O.K. Plavnost' khoda gruzovykh avtomobiley [Ride smoothness of trucks]. Moscow: Mashinostroenie; 1968. 220 p. (In Russian).
12. Praznowski K, et al. Assessment of the Road Surface Condition with Longitudinal Acceleration Signal of the Car Body. Sensors. 2020; 20: 5987. doi: 10.3390/s20215987.
13. Burdzik R. Impact and Assessment of Suspension Stiffness on Vibration Propagation into Vehicle. Sensors. 2023;(23):1930. doi: 10.3390/s23041930.
14. Lu Y., Shaopu Y., Li S., et al. Numerical and experimental investigation on stochastic dynamic load of a heavy duty vehicle. Applied Mathematical Modelling. 2010; 34: 2698-2710. doi: 10.1016/j.apm.2009.12.006.
15. Siringoringo D., Yozo F. Estimating Bridge Fundamental Frequency from Vibration Response of Instrumented Passing Vehicle: Analytical and Experimental Study. Advances in Structural Engineering. 2012; 15: 417-433. doi: 10.1260/1369-4332.15.3.417.

*Дата поступления
в редакцию: 09.11.2025*

*Дата принятия
к публикации: 18.02.2026*