

УДК 629.33

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМОВ  
ГРУЗОВОГО ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ В УСЛОВИЯХ  
ВИРТУАЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

**SIMULATION OF LOAD MODES OF A CARGO ELECTRIC  
VEHICLE ON A VIRTUAL TESTING GROUND**

**Гончарко А. А., Кравченко Александр Л.,  
Кравченко Алексей Л., Колесникович А. Н.,**  
Объединенный институт машиностроения,  
г. Минск, Республика Беларусь

**A. Hancharka, Aliaksandr Krauchonak, Aliaksei Krauchonak,  
A. Kalesnikovich,**

**The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National academy  
of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus**

*Работа посвящена выбору и моделированию нагрузочных режимов грузового электромобиля. Проанализированы полигоны с участками дорог для испытаний электромобилей. Динамическая модель грузового электромобиля разработана в программе ADAMS. Приведены результаты моделирования нагруженности рамы на участке «бельгийская мостовая».*

*The work considers selection and modeling of load modes of a electric truck. Testing ground with sections of the road for testing electric vehicles are analyzed. The dynamic model of a electric truck was developed in the ADAMS program. The results of modelling the load of the frame on the «Belgian bridge» section are given.*

**Ключевые слова:** электромобиль, динамическая модель, ADAMS, режим нагружения, полигон.

**Keywords:** electric vehicle, dynamic model, ADAMS, load mode, testing ground.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Многообразие реальных условий нагружения несущих систем (рам) как автомобилей, так и электромобилей, а также сложность их геометрических форм существенно затрудняют проведение расчетов классическими методами при проектировании нового автомо-

бия. На практике для воспроизводства всего спектра нагружений несущих систем проводят полигонные и эксплуатационные испытания, которые требуют наличие реального образца техники. Современные методы компьютерного моделирования и виртуальных испытаний позволяют проводить такие испытания в виртуальной среде при наличии соответствующего программного обеспечения и валидированных компьютерных моделей без изготовления реального образца техники. Важным этапом при проведении виртуальных испытаний, является выбор и моделирование нагрузочных режимов.

Объектом исследования является грузовой электромобиль колесной формулой 4×2, полной массой 3150 кг и грузоподъемностью 1000 кг предназначенный для перевозки грузов на дорогах общего пользования в городских условиях, экологических чистых зонах и на закрытых территориях.

## ОБЗОР ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПОЛИГОНОВ

Для обоснования и выбора нагрузочных режимов грузового электромобиля проанализируем существующие испытательные треки автомобильных полигонов. В НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» (г. Дмитров Российская Федерация) представлено 15 типов и разновидностей испытательных дорог (дорога с базальтовым покрытием; асфальто-бетонная с повышенным и пониженным коэффициентами сцепления; с покрытиями «выбитый булыжник», «бельгийская мостовая»; песчаный участок; грунтовая дорога и др.) общей протяженностью 110 км на площади 25 кв. км, моделирующих практически весь спектр дорожных условий эксплуатации автотехники в России [1]. На данном автополигоне не выделен особый участок дорог для испытаний электромобилей, однако испытания по оценке нагруженности несущих систем тут можно провести в полном объеме, а комплекс дорог после оцифровки предлагается авторами использовать для проведения виртуальных испытаний.

Испытательные полигоны в разных странах, такие как HORIBA MIRA (Великобритания), ASTAZERO (Volvo, Швеция), Automotive Proving Ground Zala Ltd (Будапешт, Венгрия) имеют широкий спектр испытательных дорог и охватывают все области разработки и испытаний автомобилей [2–4]. Данные автополигоны в той или иной мере содержат отдельные испытательные участки для проведения испытаний электромобилей.

Дорога с микропрофилем «бельгийская мостовая», представленная в том числе и на автополигоне НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» находит широкое применение при проведении ресурсных и ускоренных испытаний несущих систем на многих испытательных автополигонах мира и обеспечивает форсирование нагружения в том числе и таких узлов как подвески, мосты, оси, детали рулевого управления и т. д. [5].

### ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГРУЗОВОГО ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ.

В программе компьютерного моделирования ADAMS разработана динамическая модель исследуемого грузового электромобиля, которая включает модели передней и задней подвесок, шин, рулевого управления, несущих систем и др. На рис. 1 представлен общий вид динамической модели электромобиля.

Исходными данными для модели являлась техническая характеристика проектируемого грузового электромобиля, габаритные размеры, кинематические параметры рулевого управления, упругие характеристики подвесок, а также масс-инерционные характеристики.

В исследуемом электромобиле применяется передняя и задняя подвески с малолистовыми рессорами и гидравлическими амортизаторами. Упругим и направляющим элементом подвески являются рессоры. Модели рессор разработаны в программе ADAMS Chassis.

На рис. 2 приведена схема электромобиля с указанием шарниров соединения рамы и подвески, принятых для оценки силовой нагруженности шасси.

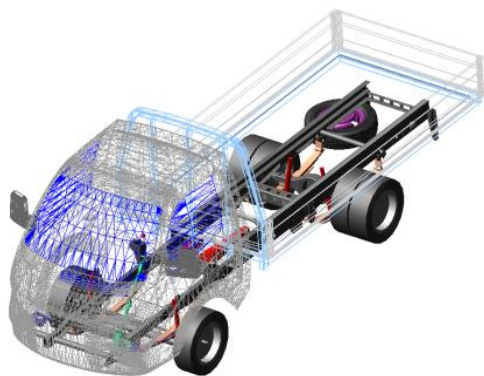


Рисунок 1 – Общий вид динамической модели электромобиля в программе ADAMS

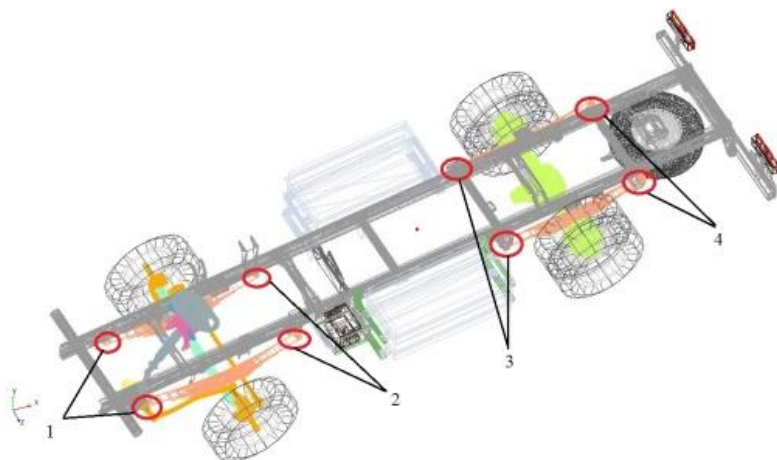


Рисунок 2 – Схема нумерации шарниров шасси электромобиля для оценки его силовой нагруженности:

- 1 – крепление коренного листа передней рессоры к раме; 2 – крепление серьги передней рессоры к раме;
- 3 – крепление коренного листа задней рессоры к раме;
- 4 – крепление серьги задней рессоры к раме

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ.

Проведено моделирование на дорогах с различными профилями и скоростными режимами. В качестве примера в работе представлены результаты моделирования движения электромобиля по микропрофилю «бельгийская мостовая» со скоростью 10 км/ч.

На рис. 3 представлен график результирующих сил в передней подвеске при движении по микропрофилю «бельгийская мостовая».

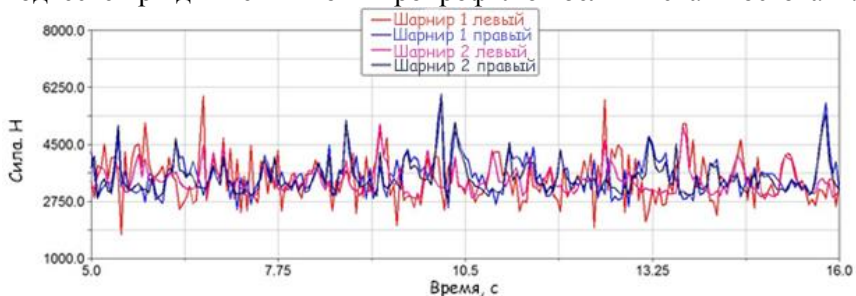


Рисунок 3 – График результирующих сил в передней подвеске

В табл. 1 представлены результаты анализа компьютерного моделирования силовой нагруженности шасси электромобиля.

Таблица 1 – Результаты силовой нагруженности шасси электромобиля

Номер шарнира	Силы и их проекции в системе координат электромобиля	Силы, Н							
		Минимум		Максимум		Среднее значение		Средне-квадратическое отклонение	
		лев	прав	лев	прав	лев	прав	лев	прав
1	X (продольная)	-5484	-5798	1067	908	-1252	-1325	985	934
	Y (вертикальная)	-5063	-5612	-1702	-1366	-3015	-3098	644	685
	Z (поперечная)	-1492	-1062	1002	1314	-214	-194	481	421
	Результирующая	1749	2513	5984	6042	3444	3550	675	557
2	X (продольная)	-717	-1243	4233	5756	1255	1222	810	936
	Y (вертикальная)	-5115	-5391	-1310	-808	-2984	-3046	665	745
	Z (поперечная)	-746	-653	936	1252	197	223	307	386
	Результирующая	2845	2776	5137	5945	3398	3485	410	510
3	X (продольная)	-1226	-610	4824	4520	1895	1838	955	1048
	Y (вертикальная)	-6630	-7228	-1672	-1099	-4210	-4293	859	982
	Z (поперечная)	-1155	-1295	2508	1418	357	277	561	448
	Результирующая	2429	2179	7538	7557	4754	4810	895	1010
4	X (продольная)	-3264	-3032	-522	-169	-1805	-1788	387	402
	Y (вертикальная)	-6943	-7476	-1476	-506	-4230	-4316	917	1055
	Z (поперечная)	-1478	-2025	1594	881	-246	-309	488	510
	Результирующая	1691	830	7672	7905	4637	4712	969	1118

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приводится краткое описание полигонов для испытаний автомобильной техники, разработанной динамической модели электромобиля и пример результатов виртуальных испытаний исследуемого электромобиля на режиме движения по микропрофилю «бельгийская мостовая». В результате моделирования проведен силовой анализ и показано, что в режиме движения электромобиля по дороге с микропрофилем «бельгийская мостовая» расчетные значения максимальных сил в шарнирах соединения подвесок с рамой составляют: продольная 5798 Н, поперечная 2508 Н, вертикальная 7476 Н.

Проведенное компьютерное моделирование позволяет произвести оценку показателей нагруженности шасси в динамической постановке при различных дорожных условиях. Результаты данных

исследований будут в дальнейшем использованы при оценке долговечности рамы электромобиля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. На круг – полсотни: 50 лет Дмитровскому полигону [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.zr.ru/content/articles/677095-na-krug-polsotni-poligonu-niciamt-50-let>. – Date of access: 17.05.2023.

2. 2 млн. кв. м автополигона ASTAzero – Active Safety Test Area Volvo. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://old.clubvolvo.ru/content.php?r=365-2-млн-кв-м-автополигона-Astazero-Volvo>. – Date of access: 17.05.2023.

3. Испытательный трек новаторская разработка автомобиля: за кулисами. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://appmaxx.com/2019/08/25/the-test-track-pioneering-car-development-behind-the-scenes-at-horiba-mira>. – Date of access: 17.05.2023.

4. Испытание трассы пионерской разработки автомобиля: за кулисами в Horiba MIRA. [Electronic resource]. – Mode of access: [https://www.info-klient.by/n773-ispytanie\\_trassy\\_pionerskoy\\_razrabotki\\_avtomobilya\\_za\\_kulisami\\_v\\_Horiba\\_MIRA.html](https://www.info-klient.by/n773-ispytanie_trassy_pionerskoy_razrabotki_avtomobilya_za_kulisami_v_Horiba_MIRA.html). – Date of access: 17.05.2023.

5. Прочность и долговечность автомобиля / Б. В. Гольд [и др.] – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.

Представлено 17.05.2023