

О полунатурном моделировании автомобиля с помощью электросимуляторов

Михайлов Владимир Георгиевич, канд. техн. наук,

г. Минск, Республика Беларусь, e-mail sapr7@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ тенденций в разработке и доводке конструкций автомобилей за рубежом с использованием методов имитационного моделирования на основе симуляторов. Указано, что основным фактором, препятствующим внедрению такого моделирования, является высокая стоимость симулятора (≈ 20 мил. евро). Одним из путей решения этого является использование электросимуляторов.

Для оценки возможности их использования сопоставлены данные компьютерного моделирования колебаний грузового автомобиля бхб и параметров электроактуаторов Parker, MOOG.

Установлено что максимальное перемещение, скорость, ускорение рамы составляет соответственно 160 мм, 153 мм/с и 15,6 м/с². Они носят единичный характер. В основном же перемещения не превышают 50 мм. Основной спектр ускорений рамы приходится на полосы 2–3, 8–10 Гц.

Имеющиеся на рынке электроактуаторы Parker, MOOG позволяют воспроизводить вибрации в полосе до 10 Гц со значениями перемещений, скоростей и ускорений 330 мм, 1,7 м/с, 15 м/с² и вполне обеспечивают необходимое перемещение, скорость и ускорение испытываемой платформы и могут применяться в качестве симулятора автомобиля в лабораторных условиях.

Ключевые слова: Имитационное моделирование, автомобиль, симулятор, электроактуатор.

Введение

Для сокращения времени разработки и доводки конструкций автомобилей за рубежом сейчас широко применяют методы имитационного моделирования с использованием симуляторов [1]. Последнее представляет собой симбиоз компьютерного моделирования с управляемыми полунатурными испытания на стенде с задействованием водителя в этом процессе с имитированием визуализации дорожной обстановки и воздействия реального макро и микропрофиля дороги, что существенно влияет на режим движения и нагруженность автомобиля.

Целью такого моделирования является изучение поведения и нагруженности автомобиля. Это позволяет проработать на моделях большое количество дорожных ситуаций и вариантов конструкции и испытать их в стендовых условиях, отработать эргономику, значительно сократить время создания новых моделей машин, не подвергая риску водителей и испытателей.



Рисунок 1 – Имитационное моделирование и испытания автомобилей за рубежом

Полученные результаты используются при ускоренных стендовых испытаниях, на которые приходится основной объем испытаний и которые максимально воспроизводят реальное воздействие от дороги.

Основным фактором, препятствующим внедрению такого моделирования, является высокая стоимость симулятора (≈ 20 мил. евро) из-за использования сложной перемещаемой на рельсах платформы с пульсаторами, помещений, необходимого оборудования, аппаратуры

и создания сложного программного обеспечения для моделирования в реальном масштабе времени и управления стендами. Тем не менее ведущие университеты США, Германии, Швеции, Японии имеют такие симуляторы, несколько в упрощенном виде.

Важным моментом для развития такого моделирования является снижение стоимости стенда. Сейчас на рынке появились симуляторы для игр и центров обучения вождению (рисунок 2). В качестве исполнительных элементов в них используются электроактуаторы в виде механического цилиндра с ременной и червячной шариковой передачей и электродвигателя с блоком электроуправления. Стоимость их колеблется от 3500 до 15000 \$. Стоимость лабораторного варианта платформы (второго слева) \$7,800 [2].



Рисунок. 2 – Предлагаемые на рынке электросимуляторы

Предлагаются и более серьезные электросимуляторы Parker, MOOG [3,4], требующие использования специального оборудования и ПО. Они могли бы подойти для применения в расчетном бюро. Неясным остается вопрос, какой диапазон вибраций они могут воспроизводить. На видео в основном демонстрируются перемещения платформы с частотой порядка 0,5–1,5 Гц.

Для реализации имитационного моделирования помимо создания стенда необходимо решить следующие ключевые задачи:

- получение и задание массивов макро и микропрофиля дороги с шагом $-0,125$ м. Это является ключевым моментом для моделирования движения и

- нагруженности автомобиля, необходимо иметь не менее 5-ти типовых участков. – визуализация дорожной обстановки, для чего предложено использование видеозаписи дороги, полученной синхронно с регистрацией профиля и микропрофиля дороги и процессом моделирования;

- разработка более совершенных моделей автомобиля, обеспечивающих погрешность колебаний 5–15 % с учетом спектра на реальной дороге;

- обеспечение более простыми и дешевыми средствами реализации моделирования в реальном масштабе времени и визуализации дорожной обстановки. Для чего предложено использование миникомпьютеров Raspberry с АЦП ЦАП ADS_DA1256 в сочетании с обычным мощным компьютером;

- разработка программного обеспечения системы, включая моделирование движения, колебаний и управляемости автомобиля в Simulink с синхронной визуализацией дорожной обстановки по пути, получения параметров положения педалей газа, передачи КПП, рулевого колеса и обмен управляющей информацией (для информации программа последнего имеет 1500 строк исходного текста на C/C++);

- разработка простого схемного решения стенда имитационного моделирования, позволяющее проводить исследования автомобиля.

Все это поэтапно удалость решить.

Целью данной работы является оценка возможности использования электросимуляторов для лабораторных исследований автомобиля и выбор схемы ее реализации.

2. Сопоставление параметров электроактуаторов и перемещений рамы

Для оценки возможности использования электроактуаторов при моделировании сопоставлены данные компьютерного моделирования колебаний грузового автомобиля бхб на макетном настольном образце [3] с задействованием водителя, движущегося по пересеченной местности асфальтированного шоссе с переменной скоростью, задаваемой исходя из возможностей автомобиля, профиля дороги, визуализации дорожной обстановки. На рисунке 3 представлены осциллограммы ускорений, скорости и перемещений рамы над передней осью, а в таблице 1 их среднеквадратические значения при движении по асфальтированному шоссе протяженностью 10 км Белробот – Приморье – Семков городок – Чучаны – МКАД2 длиной 10 км. Данный маршрут характерен значительными перепадами высот профиля дороги, разным качеством покрытия (асфальт, разбитые бетонные плиты), проезд через 3 населенных пункта, наличием двух поворотов, две полосы движения. Средняя скорость движения составила 64,9 км/ч.

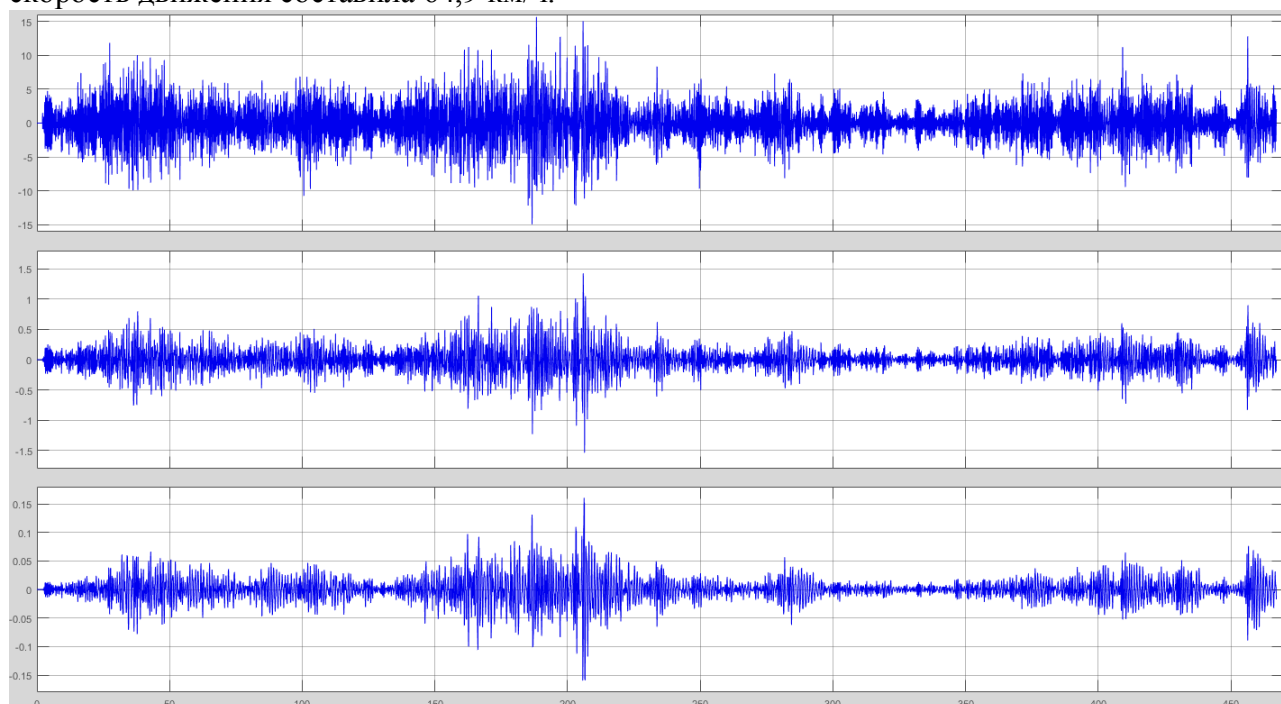


Рисунок 3 – Ускорения, скорость и перемещение рамы над передней осью

Таблица 1 – Значения среднеквадратических и максимальных ускорений, скорости и перемещений на раме над передним мостом

Октав а, Гц	2	4	8	16	0– 22	ма х								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Z, мм	3,84	2,16	1,0	0,85	4,5	160								
\dot{z} , см/с	4,9	4,2	2,5	2,1	7,2	153								
\ddot{z} , м/с ²	0,68	0,9	1,11	1,27	2,03	15,6								
Z, мм	2,31	2,34	2,27	2,1	1,61	0,76	0,52	0,41	0,35	0,32	0,3	0,28	0,27	0,27
1/3 Гц октава	1.25	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
\dot{z} , см/с	1.82	2.35	2,81	3,29	3,1	1,74	1,32	1,17	1,03	0,94	0,8 2	0,7	0,62	0,56
\ddot{z} , м/с ²	0,14	0,24	0,36	0,52	0,61	0,42	0,39	0,44	0,48	0,53	0,5 1	0,45	0,37	0,09

Как видно из рисунков и таблицы максимальное перемещение, скорость, ускорение рамы составляет соответственно 160 мм, 153 мм/с и 15,6 м/с². Они носят единичный характер. В основном же перемещения не превышают 50 мм. Основной спектр ускорений рамы над передним мостом приходится на полосы 2–3, 8–10 Гц.

В таблице 2 приведены основные параметры электроактуаторов Parker [4], а в таблице 3 электроактуаторов MOOGH [8].

Таблица 2 – Основные параметры электроактуаторов Parker

Модель	ETH032				ETH050			ETH080		
	М05	М05	М05	М05	М10	М20	М05	М10	М32	
Диам. червяка	мм	5	10	16	5	10	20	5	10	32
Диам. гайки	мм		16			20			32	
Допустим. ход	мм	50-1000			50-1200			50-1600		
Макс. скорость при ходе штока	мм/с									
50 - 400 мм		333	667	1067	333	667	1333	267	533	1707
600 мм		286	540	855	333	666	1318	267	533	1707
800 мм		196	373	592	238	462	917	267	533	1707
1000 мм		146	277	440	177	345	684	264	501	1561
1200 мм					139	270	536	207	394	1233
1400 мм								168	320	1006
1600 мм								140	267	841
Макс. ускорение	м/с ²	4	8		12	8	15	4	8	15
Осевое усилие	N	3600	3700	2400	930	7000	4400	17800	25100	10 600

Maximum Speed:

- 1600 mm stroke
- 1400 mm stroke
- 1200 mm stroke
- 1000 mm stroke
- Max actuator speed

Performance Zones:

Motor Codes	Continuous Operation					
	1	2	3	4	5	6
XPQ (1)	•	•	•			
XPR (2)	•	•	•			
XPS (3)	•	•	•			
XPT (4)	•	•	•			
XPU (5)	•	•	•			
XPV (6)	•	•	•			
XPW (1)	•	•	•			
XPX (2)	•	•	•			

(1) Without brake (2) With brake
* In-line motor mount only

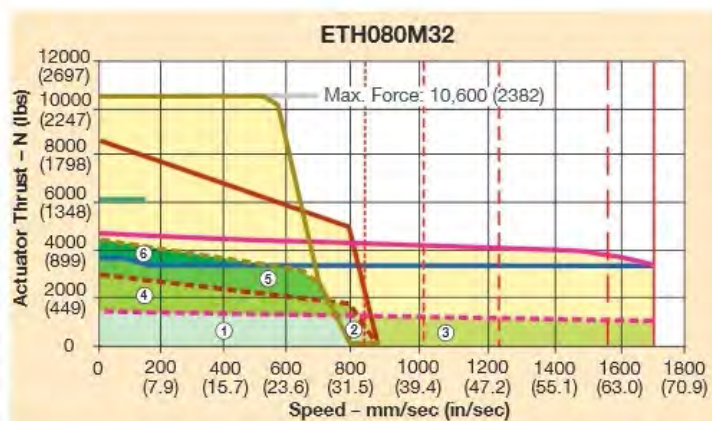






Рисунок 4 – Характеристика цилиндра актуатора: усилие от скорости

Согласно дополнительной информации, полученной по запросу из Китая, электроактуаторы [2] могут обеспечить перемещение переменного характера ±50 мм с частотой 2 Гц. Примерно такие же вертикальные перемещения в дороге на видео имеют место на стенде Мерседес-Бенц. Последний использует электроактуаторы MOOG [4, 6], позволяющие воспроизводить частоты по одним источникам до 10 Гц, по другим до 25 Гц [7]. Симуляторы (рисунок 2, второй слева) могут найти применение в расчетном бюро. Однако предлагаемое КНР ПО не позволяет решать задачи движения, колебаний и управляемости автомобиля, т.к. они ориентированы на игры и обучение вождению.

Таблица 3 – Основные параметры электроактуаторов MOOG

Вид				
1	2	3	4	5
Model	MB-E6DOF/24I/ 1800KG	MB-EP-6DOF/24/ 2400KG	MB-EP-6DOFF40/ 10000KG	MB-EP-6DOF/60/ 28000KG
Макс. значения цилиндра DOF от нейтрал. Горизон. перемещение Боковое перемещение Вертик. перемещение Крен/Roll Тангаж/Pitch Рыскание/Yaw	-0.44 м/+056 м ±0.46 м (± 8 in) ± 0.38 м (±/5.0in) ±22.0° -22.0 7+25.0 0 ±24.0°	- 0.44м /+ 056м ± 0.46 м (± /8.0 in) ± 0.38 м (± /5.0 in) ± 22.0 ° -22.0 /+ 25.0 ° ±24.0°	-073м/+0.81 м ±0.70 м (± 27.0 in) ± 0.68 м (± 26.0 in) ± 22.0 ° ±21.0° ±22.0°	±0.34м(±I40 in) ±0.32м(± /12.0 in) ± 0.36 м (± /14.0 in) ±10.0° -10.0 /+11.0 ° ±9.0°
Максим. скорость при полной нагрузке Горизон. перемещение Боковое перемещение Вертик. перемещение Крен/Roll Тангаж/Pitch Рыскание/Yaw Surge	±0.70 м/с (±28.0 in/s) ±0.70 м/с (±28.0 in/s) ± 0.55 м/с(± 22.0 in/s) ± 33.0 % ±34 0 % ± 35.0 %	± 0.70 м/с(± 28.0 in/s) ± 0.70 м/с (±28.0 in/s) ±0.55 м/с (± 22.0 in/s) ±33.0 % ±34.0/% ±35.0/%	± 0.90 м/с(± 36.0 in/s) ±0.90 м/с (± 36.0 in/s) ± 0.80 м/с(± 3/.0 in/s) ± 280 % ± 260 % ±26.0/%	± 0.95 м/с (± 380 in/s) ±0.90 м/с (36.0 in/s) ± / .00 м/с (± 40.0 in/s) ±30.0% ±29.0 % ± 26.0 %
Максим. ускорение при полной нагрузке Горизон. перемещение Боковое перемещение Вертик. перемещение Крен/Roll Тангаж/Pitch Рыскание/Yaw	±6.5 м/с ² (± 0.65 G) ±6.5 м/с ² (±0.65G) ±9.0 м/с ² (±0.90G) ± 220 %/с ² ± 220 %/с ² ± 360 %/с ²	±6.5 м/с ² (±0.65G) ±6.5 м/с ² (± 0.65 G ± 9.0 м/с ² (± 0.90 G) ±220 %/с ² ± 220 %/с ² ±360 %/с ²	±/3.0 м/с ² (± / 30G) ±/2.0 м/с ² (± / .20 G) ±/5.0 м/с ² (± /50 G) ± 400 %/с ² ± 400 %/с ² ± 450 %/с ²	±8.0 м/с ² (± 0.80 G) ±8.0 м/с ² (± 0 80 G) ±/2.0 м/с ² (± / .20 G) ±300 7с ² ±300%/с ² ±400 %/с ²
Перемещаемая нагрузка (GML) up to	1.800 kg (4.000 lb)	2,800 kg (6,200 lb)	8.000 kg (/7.600 lb)	28.000 kg (6/.000 lb)
Полезная нагрузка	1.500 kg (3.300 lb)	2.500 kg (5.500 lb)	6.000 kg (/3.200 lb)	24.000 kg (53.000 lb)
Частота воспроизведения	25 Hz	25 Hz	25 Hz	25 Hz

Стоимость лабораторного варианта для расчетного бюро оценивается в 20–20 тыс. \$, включая симулятор, проекторы, экран, ПО. Потребуется некоторая доработка созданного мной ПО и стыковка его с системой управления симулятора.

Дополнительно следует учесть, что подрессоренное сиденье ослабляет вибрации начиная с 4–8 Гц в 2–3 раза и более высокочастотные вибрации менее чувствительны для человека. Воспроизводимый диапазон частот до 10 Гц, охватывающий спектр подрессоренных и неподрессоренных масс, вполне достаточен для имитирования вибраций, что подтверждается опытом фирмы Мерседес-Бенц [1].

По данным документации MOOG [8] (таблица 3) имитационная платформа MB-EP-6DOF/40/10000 может обеспечить ускорение 13 м/с² и скорость 0,9 м/с при амплитуде 0,73 / 0,81 м и она, похоже, используется в симуляторе фирмы Мерседес-Бенц. По реализуемой частоте 25 Гц имеются сомнения из-за малых величин перемещений на высоких частотах и податливости ременной передачи.

Из всего этого следует, что электроактуаторы вполне обеспечивают необходимое перемещение, скорость и ускорение платформы и могут применяться в качестве симулятора автомобиля при скорости цилиндра >1–1,5 м/с. Вместе с тем следует заметить, что их область применения все же ограничена реализуемыми усилиями и диапазоном частот, хотя их использование представляется перспективным. Для проведения полноценных испытаний автомобиля все же необходимо использование гидропульсаторов.

Дополнительно следует указать на использование электроактуаторов в качестве исполнительных механизмов систем управления беспилотными автомобилями [8] и промышленных роботов.

Оптимальным вариантом реализации системы имитационного моделирования является использование решения, показанного на рисунке 2, (второго слева) с использованием экрана и управляемых проекторов, которые смещают изображение дорожной обстановки на экране вправо-влево в соответствии поворотом руля и реагированием на это автомобиля.

Однако наши автопроизводители не проявляют интереса к этому из-за сложной экономической ситуации, как и не востребованы мои знания и опыт.

Заключение

1. Проведенный анализ вибронегруженности грузового автомобиля, движущегося по дорогам, показывал, что максимальные перемещения, скорость, ускорения рамы составляет соответственно 160 мм, 153 мм/с и 15,6 м/с². Они носят единичный характер. В основном же перемещения не превышают 50 мм. Основной спектр ускорений рамы приходится на полосы 2–3, 8–10 Гц.

2. Имеющиеся на рынке электроактуаторы позволяют воспроизводить вибрации в полосе до 10 Гц со значениями перемещений, скоростей и ускорений до 330 мм, 1,7 м/с, 15 м/с² и вполне обеспечивают необходимое перемещение, скорость и ускорение испытываемой платформы и могут применяться в качестве симулятора автомобиля в лабораторных условиях. Для проведения полноценных испытаний автомобиля все же необходимо использование гидропульсаторов.

Литература

1. Mercedes-Benz Innovation Vehicle Developing// <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/next/advanced-engineering/> / [Электронный ресурс /Electronic resource]. /– Режим доступа/Access mode: 22.07.2018.
2. Customized Flight Simulator Car Driving Simulation 6 Dof Motion Base Platform/ <https://szfdra.en.made-in-china.com/product/lSYMBGZJbIcn/China-Customized-Flight-Simulator-Car-Driving-Simulation-6-Dof-Motion-Base-Platform.html> / [Электронный ресурс /Electronic resource] /– Режим доступа/Access mode: 22.07.2018.
3. High Force Electric Actuators / https://www.parker.com/Literature/Industrial%20Cylinder/cylinder/cat/english/HY08-0893-1NA_ETH.pdf / [Электронный ресурс /Electronic resource]./– Режим доступа/Access mode: 03.07.2018.
4. Electric Simulation Table / <https://www.moog.com/products/simulation-tables/electric-simulation-table.html>/ [Электронный ресурс /Electronic resource]./– Режим доступа/Access mode: 08.09.2019.
5. Михайлов В.Г., О некоторых подходах моделирования автомобиля на симуляторах / Системный анализ и прикладная информатика – 2019, № 3.
6. Driving Simulator Testing / <https://www.moog.com/markets/automotive-test-and-simulation1/automotive-performance-testing/driving-simulator.html>/ [Электронный ресурс /Electronic resource]./– Режим доступа/Access mode: 28.08.2019.

7. Actuators for testing electronic control systems / <https://www.atesteo.cn.com/en/testing-equipment/actuators> // [Электронный ресурс / Electronic resource] /– Режим доступа/Access mode: 28.08.2019.

8. ELECTRIC SIMULATION TABLE NEXT GENERATION TESTING
https://www.moog.com/content/dam/moog/literature/ICD/Moog-Test-Electric_Simulation_Table-Overview-en.pdf // [Электронный ресурс / Electronic resource] /– Режим доступа/Access mode: 08.09.2019.

Дата поступления
в редакцию 30.10.2019

About semi-natural modeling of the vehicle by means of electroactuators

Mikhailov V.G., PhD (Eng)

Minsk, Republic Belarus, e-mail sapr7@mail.ru

Summary. *The analysis of tendencies in development and operational development of constructions of vehicles abroad with use of methods of simulation modeling on the basis of simulators is carried out. It is specified that the pacing factor interfering implementation of such modeling is the high cost of the simulator (≈ 20 it is lovely. euro). One of solutions of it is use of electrostimulators.*

For assessment of a possibility of their use data of computer simulation of fluctuations of the truck 6x6 and parameters of electroactuators Parker, MOOG are compared.

It is established that the maximum movement, the speed, acceleration of a frame makes respectively 160 mm, 153 mm / with and $15,6 \text{ m/s}^2$. They have single character. Generally movements do not exceed 50 mm. The main range of accelerations of a frame are the share of bands 2-3, 8-10 Hz.

The electroactuators which are available in the market allow to reproduce vibrations in a band to 10 Hz with values of movements, speeds and accelerations of 330 mm, 1,7 m/s, 15 m/s^2 quite provide necessary movement, speed and acceleration of an ispytuyemy platform and can will be applied as the car simulator in vitro.

Keywords: *Imitating modeling, vehicle, simulator, electroactuator.*