

Научная статья
УДК 629.3

О реализации режима реального времени при моделировании автомобиля в Simulink с симулятором и смешанной реальностью

Владимир Георгиевич Михайлов

sapr7@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4767-7293>

Аннотация. В статье рассмотрены основные задачи имитационного моделирования движения, колебаний управляемости автомобиля. Выявлено, что проблемным действием является недостаточное быстродействие существующих компьютеров (даже с частотой процессора 4–5 ГГц) из-за передачи данных на стенд по CAN BUS и необходимости вести моделирование с реальными характеристиками элементов в полосе 0–28 Гц при шаге 0,0006–0,001 с, чтобы получить приемлемое схождение с экспериментом. Предлагаемое ранее разнесение и распараллеливание вычислений по компьютерам, соединенных сетью Windows требует использования специального программного обеспечения разделения задач и их синхронизации, которое пока недоступно из-за санкций и дороговизны.

Для повышения производительности предложено разделить вычисления по трем компьютерам (в дальнейшем на 4) через 3-уровневую комбинированную сеть, включая разбивку математической модели на переднюю и заднюю подвеску в отдельных блок-схемах для более равномерного распределения вычисления по интеграторам в Simulink, чтобы операционная система Windows могла лучше распределить по ядрам процессора.

На первом (мини-компьютер Raspberry) осуществляется считывание параметров с органов управления автомобиля для передачи их в сеть, на втором, основном более мощном компьютере сам процесс моделирования, на третьем визуализацию дорожной обстановки, передачу информации на 6-DoF платформу вибростенда по сети CAN BUS.

За счет этого получено в Simulink повышение производительности вычислений в 1,6 раза.

В дальнейшем целесообразным представляется еще разнесения вычислений по ядрам компьютерам с использованием специального программного обеспечения.

Ключевые слова: моделирование автомобиля, программное обеспечение, шлем, виртуальная, смешанная реальность, Simulink.

Для цитирования: Михайлов В.Г. О реализации режима реального времени при моделировании автомобиля в Simulink с симулятором и смешанной реальностью // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2024. № 3 (41).

Original article

About realization of the mode of real time when modeling the car in Simulink on the simulator with the mixed reality

Vladimir G. Mikhailov

sapr7@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4767-7293>

Abstract. The main objectives of imitating modeling of the movement, fluctuations of controllability of the car with involvement of the commixed reality and simulators are considered(examined). It is revealed that the problem place of their decision is the insufficient speed of the existing computers (even with frequency of processor of 4-5 GHz) due to the need of message modeling in strip of 0-28 Hz at step 0.0006-0.001 with to receive acceptable convergence with experiment. The separation offered earlier and parallelization of the calculations on computers connected by powerful network demands use of the special software of division of tasks and their synchronization which is still inaccessible because of sanctions and high cost.

For increase in performance it is offered to divide calculations on the 3rd computers through the three-level combined network, including breakdown of mathematical model into front and rear suspension in separate flowcharts for more equal distribution of calculation on integrators in Simulink that the Windows operating system could distribute(allocate) better on processor cores.

On the first (Raspberry minicomputer) reading of parameters from governing bodies of the car for drive is offered to carry out them in network, on the second main more powerful computer itself of modeling process, on the third visualization of road situation, information transfer on 6-Dof the platform of the vibrostand on CAN BUS network.

At the expense of it it is promoted in Simulink of the performance of calculations by 1.6 times.

Further expedient it is represented to computers still of separation of calculations on cores with use of the special software.

Keywords: modeling of the vehicle/car, software, helmet, virtual, commixed reality, Simulink.

For citation: Mikhailov V.G. About realization of the mode of real time when modeling the car in Simulink on the simulator with the mixed reality // *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2024. № 3 (41).

Введение. Сегодня за рубежом при создании автомобиля все больше внимания уделяется использованию виртуальной и смешанной реальности [1–8]. Это направление открывает большие возможности для проработки дизайна, эргономики, конструкции автомобиля на электронных моделях, его моделированию и расчету, полунатурным стендовым испытаниям.

Данное направление позволяет учесть фактор водителя, погрузив его в виртуальный мир эксплуатации, определить режим движения и нагруженность автомобиля и в итоге выйти на расчет долговечности. Для реализации требуется одновременное моделирование следующих задач:

- движение автомобиля с учетом совместного реального макро и микропрофиля дороги, характеристик двигателя, трансмиссии;
- колебаний автомобиля с учетом реальных характеристик подвески;
- управляемость;
- имитирование и визуализация дорожной обстановки в шлеме виртуальной реальности;
- передача данных вибраций и звука на стенд для вибрационного и звукового воздействия на водителя на симуляторе.

Исходя из публикаций за рубежом [1–8] пока же основное внимание уделяется решению задач эргономики и рекламных презентаций. Для этого используются мультимедийные пакеты Unreal Engine, Unity [2-8] путем применения визуальных компонентов для создания иллюзии имитирования движения и дорожной обстановки в шлеме виртуальной реальности. Более необходимые для проработки конструкции реальные задачи движения, колебаний и долговечности в них не решаются. Хотя в пакетах предусмотрена возможность создания внешних программ, через которые можно интегрировать пакеты с Simulink и решать в последнем эти задачи. Но реализовать это сложно. Информации об одновременном решении за рубежом вышеперечисленных задач в сочетании со смешанной реальностью на этих пакетах пока нет. Возможно они не хотят делиться своими Know

how, не афишируют о таких работах, либо не получается, что обуславливает необходимость собственных исследований.

Данные задачи целесообразно реализовать на Simulink с задействованием модуля S-Function Builder и C/C++ путем использования комбинации методов полунатурного моделирования на симуляторе с водителем и смешанной реальности на перечисленных пакетах либо на основе другого подхода [12] с созданием в нем программ на C/C++ для реализации макро и микропрофиля дороги, управления визуализацией дорожной обстановки, звуком, моделированием двигателя, трансмиссии, передачи информации на другие компьютеры.

При совместном моделировании этих задач необходимо использовать численные методы интегрирования для обеспечения погрешности 10–15%. Использование передаточных функций приводит к большой погрешности (до двух раз) и не подходит для данных исследовательских задач.

Проблемным местом одновременного совместного моделирования этих задач с задействованием вибростенда и водителя является недостаточное быстродействие существующих компьютеров (даже при частоте процессора 4–5 ГГц, рассматриваемое как основной способ его повышения) из-за торможения при передаче данных по CAN BUS на стенд и осуществления моделирования с реализацией сложных моделей в полосе 0–28 Гц при шаге 0,0006–0,001 с. Предлагаемое в работах [11, 12] разнесение и распараллеливание вычислений между компьютерами соединенных одной мощной сетью требует использования специального программного обеспечения разделения задач и их интеграции в Simulink, которые пока недоступны из-за санкций и дороговизны. Параллельное решение задач в MathWork в R2024a пока осуществить не удалось из-за отсутствия в имеющейся версии необходимых функций, несоответствия документации интерфейсу, написанной, похоже, под бета версию или специальную лицензию. Обычно операционная система (Windows 10, 11) сама разделяет

выполнение задач по ядрам процессора. В 2005 г. на МЗКТ проводили эксперимент в Windows XP 64 по решению задачи напряженного состояния методом конечных элементов в пакете ANSYS R12-15. Выяснено следующее примерное разделение загрузки на ядра: 60% на первое ядро, 25% на второе, 10 и 5% на третье и четвертое ядро. Т.е. на современных процессорах имеются незагруженные ядра и возможность загрузить остальные ядра процессора при большем их количестве (8–12 ядер). Необходимо учитывать, что при одновременной загрузке ядер их производительность уменьшается до 80–90%.

Неизученным также является оптимизация структуры подпрограмм как одного из путей повышения производительности системы. Необходимо найти способ решения этой проблемы.

Целью данной работы является рассмотрение пути повышения производительности моделирования автомобиля на Simulink в режиме реального времени с задействованием симулятора.

1. Использование схемного решения

Использование сети CAN BUS, реализуемой путем низкоуровневого программирования, включения ее в последовательный цикл в программе S-Function Builder Simulink для передачи информации на вибростенд, снижает быстродействие в 1,5 раза [9, 12]. Поэтому принято решение перенести эту передачу на отдельный компьютер № 3 и тем самым повысить быстродействие моделирования (рис. 1).

На первом (мини-компьютер Raspberry) осуществляется считывание параметров с органов управления автомобиля и передача их через сеть Samba на второй основной более мощный компьютер, где реализуется моделирование движения, колебаний, управляемости автомобиля, на третьем визуализация дорожной обстановки, звуковое воздействие, передача информации на 6-DoF платформу вибростенда по сети CAN BUS.

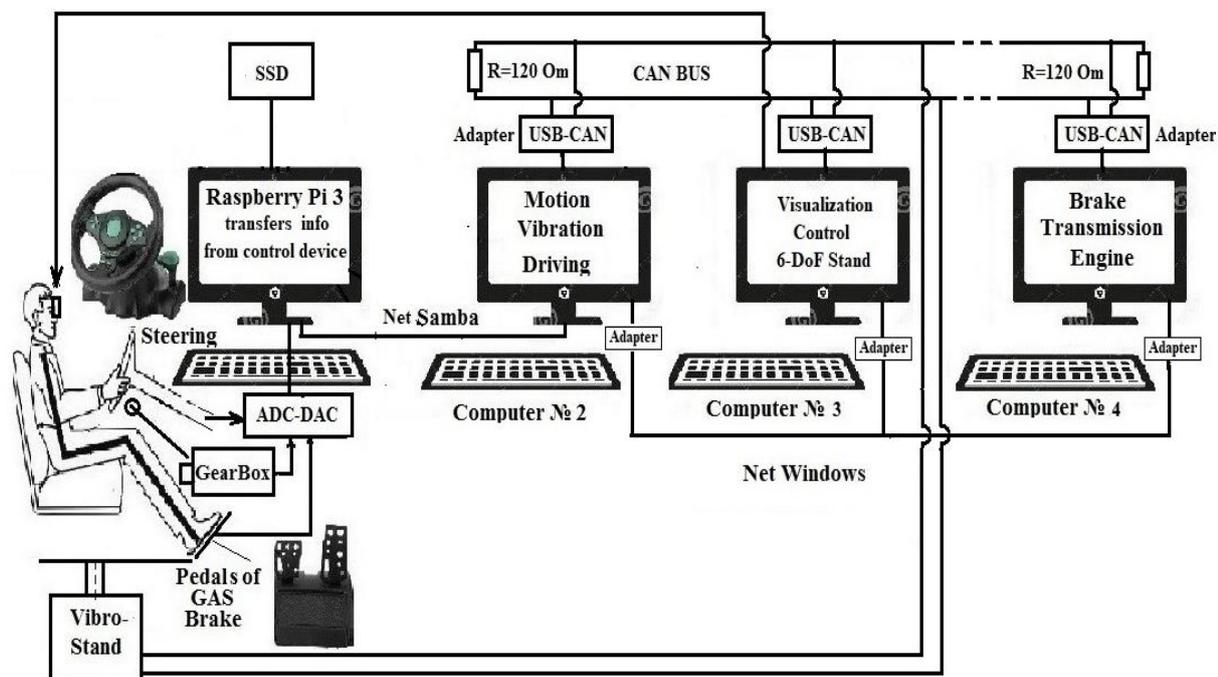


Рис. 1. Предлагаемая новая схема реализации моделирования в режиме реального времени со смешанной реальностью и вибростендом

Информация с №2, включая параметры скорости и звука, передается по общей компьютерной сети Windows в виде бинарного массива float файла с записью на накопитель .m2. Этот файл создается с помощью функции fwrite() в программе модуля S-Function Builder Simulink при определенных значений счетчика циклов моделирования и не тормозит его процесс. Затем он считывается в компьютере № 3 с помощью функции fread() и преобразуется в сигналы шлема VR и CAN BUS для 6-DoF вибростенда на электроактуаторах. Единственным условием является использование высокоскоростного сетевого адаптера на втором и третьем компьютере, а также накопителей .m2. В дальнейшем под другие задачи предполагается задействование 4-го компьютера с дополнительным Simulink. На данном этапе можно ограничиться использованием CAN BUS только для компьютера №3 и стенда. С развитием системы CAN BUS может понадобиться и другим.

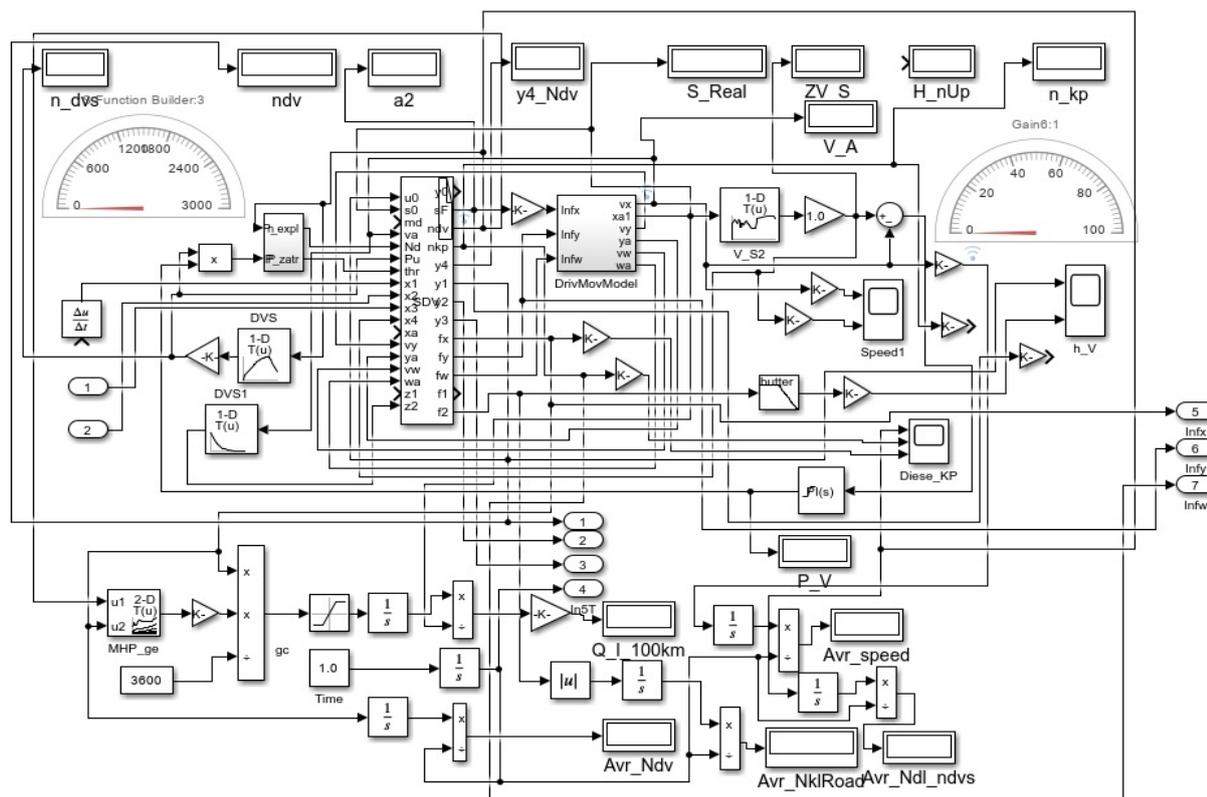


Рис. 3. Блок-схема модифицированного варианта реализации моделирования движения автомобиля в Simulink

Моделирование проводилось на двух компьютерах: процессор Ryzen 3 2600 (3,4 ГГц, 6-ядерный, хотя требуются более мощные), оперативная память 16, 32 Гб, накопитель .m2, 6000 МГц, MathWork R2024a и мини-компьютер Raspberry 3b+. з В качестве маршрутизатора сети Samba и Windows использовался телефонный HUAWEI HG8245H (1 Гбит/с), CAN BUS осуществлялось через 2 адаптера фирмы Titan TITAN ELECTRONICS INC., SN #T16820100, Тайвань (3 Мб/с). Чтобы получить более корректные результаты, исключая человеческий фактор, исследование проводилось без задействования компьютера №1 путем задания режима движения в блоке V_S2 (рис. 3).

3. Исследуемые варианты блок-схем решения этих задач

В качестве базового варианта сравнения для моделирования использовалась схема, подробно описанная в работе [12] с исходными текстами.

Во втором варианте модернизированная модель поддрессоривания двухосного и трехосного автомобилей, представлена в виде отдельных частей (блоков) передней и задней подвески (рис. 4) с осуществлением их взаимного воздействия через массу связи m_3 , предложенному в работе [13].

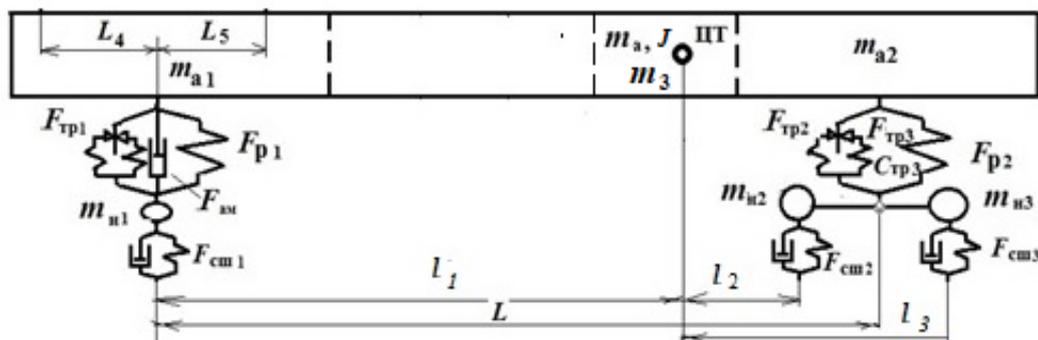


Рис. 4. Модель раздельного поддрессоривания автомобиля

Значения масс согласно преобразованиям работы [13] определяются следующим образом:

$$m_{1a1} = m_a \frac{l_2^2 + p^2}{L^2}; \quad m_{a2} = m_a \frac{l_1^2 + p^2}{L^2}; \quad m_3 = m_a \frac{l_1 l_2 + p^2}{L^2};$$

$$m_{a1} \ddot{Z}_1 - F_{п1} - m_3 \ddot{Z}_2 = 0; \quad m_{a2} \ddot{Z}_1 - F_{п2} - m_3 \ddot{Z}_1 = 0;$$

где p, m_a – радиус момента инерции поддрессорируемой массы автомобиля, l_1, l_2 – расстояние от центра тяжести, L – база автомобиля; \ddot{Z}_1, \ddot{Z}_2 – ускорения передней и задней подвески, $F_{п1}, F_{п2}$ – усилия передней и задней подвески.

На рисунке 5 представлена измененная схема, где на подпрограмму MovingAuto (рис. 3) возложена функция моделирования движения автомобиля, на FrontSusp – передней подвески, на RearSusp – задней подвески, на DrivingModel – управляемость, на CalcSpectr расчет в октавных, треть октавных полосах частот.

Данное решение позволяет более равномерно распределить нагрузку по подпрограммам по интеграторам.

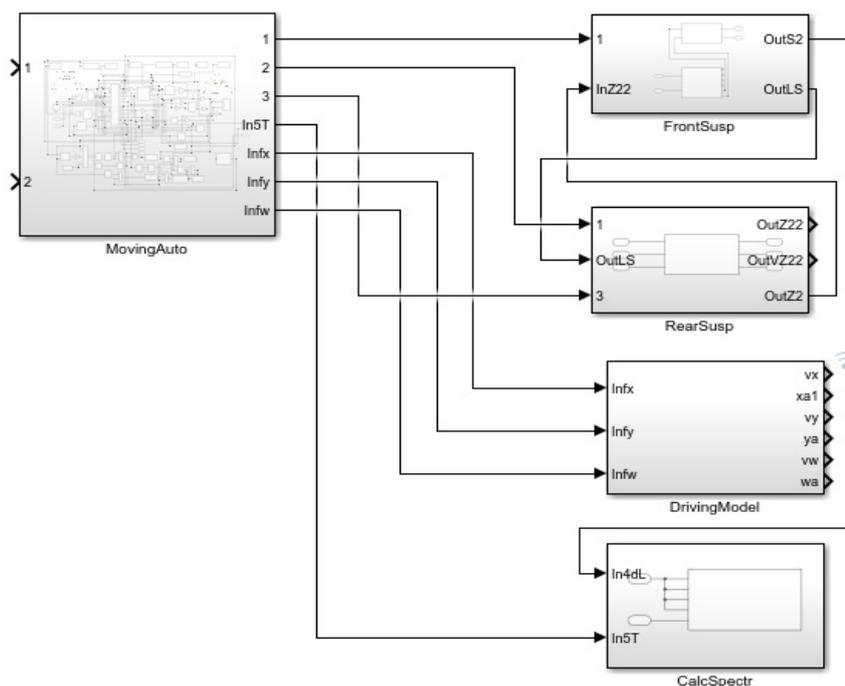


Рис. 5. Блок-схема измененной реализации имитационного моделирования в Simulink

Это решение оказалось эффективным, позволяющее вести моделирование автомобиля в Real-Time с использованием более корректных электронных моделей, проводить полунатурные испытания в стендовых условиях и тем самым снизить затраты на его создание.

Результаты исследования

Отработка предложенного способа обеспечения моделирования осуществлялась на макетном настольном образце с задействованием двух компьютеров с имитацией передачи по CAN BUS без стенда в виду того, что предприятия СНГ пока не проявляют интереса к такому моделированию: нет высококвалифицированных кадров, сложная финансовая ситуация. За рубежом интенсивно развивают это направление, что подчеркивает важность и актуальность данной работы.

По результатам схемного решения с разделением вычислений на компьютеры имеем уменьшение времени с 840 (при выполнении на одном компьютере №2 с CAN BUS) до 560 с (с перенесением передачи по CAN BUS на №3) т.е. повышение производительности в 1,5 раза. Реальное время составляет 470 с, которое можно достичь удалением блока CalcSpectr либо разгоном процессора до 3,8 ГГц. Во втором варианте получены следующие

результаты: время выполнения комплексного моделирования движения, колебаний и управляемости для участка длиной 12 км в первом случае составляет 559 с, во втором 498 с. То есть предложенная измененная схема на рис. 5 обеспечивает повышение производительности еще на 12%. В совокупности это дает повышение производительности в 1,6 раза.

Дальнейшее повышение производительности можно ожидать от распределения вычислений по ядрам процессора, но для этого требуется специальное программное обеспечение, которое может предоставить только сама MathWorks.

Заключение

1. Рассмотрены основные задачи имитационного моделирования движения, колебаний управляемости автомобиля с задействованием смешанной реальности и симуляторов. Выявлено, что проблемным местом их решения является снижение быстродействия при передаче информации на стенд и недостаточное быстродействие существующих компьютеров (даже с частотой процессора 4–5 ГГц) в связи с необходимостью вести моделирование со сложными моделями трения в полосе 0–28 Гц при шаге 0,0006–0,001 с. Предлагаемое ранее разнесение и распараллеливание вычислений между ядрами процессора и компьютерами, соединенных мощной сетью требует использования специального программного обеспечения разделения задач и их синхронизации, которое пока недоступно из-за санкций и дороговизны.

2. Для повышения производительности предложено разделить вычисления по трем (четырем) компьютерам через 3-уровневую комбинированную сеть, включая разбивку математической модели на переднюю и заднюю подвеску в отдельных блоках для более равномерного распределения вычисления в Simulink, чтобы операционная система Windows могла лучше распределить по ядрам процессора, реализовать передачу информации на стенд через компьютер №3.

3. На первом (мини-компьютер Raspberry) предложено осуществлять считывание параметров с органов управления автомобиля для передачи их в сеть, на втором, основном более мощном компьютере сам процесса

моделирования, на третьем визуализацию дорожной обстановки, передачу информации на 6-DoF платформу вибростенда по сети CAN BUS.

4. За счет такого разделения и изменения получено в Simulink повышение производительности вычислений в 1,6 раза.

5. В дальнейшем более целесообразным представляется еще разнесение вычислений по ядрам компьютеров с использованием специального программного обеспечения.

Список источников

1. Mercedes Benz TecDay 2010 Driving Simulator 2. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=CxIo11_YsK0 Video: Mercedes-Benz Driving Simulator Is Industry Leader.
2. Samuli Jääskeläinen. Mixed reality driving: Real hands virtual wheel. – URL: <https://varjo.com/vr-lab/mixed-reality-driving-simulation/>.
3. Varjo Lab Tools // Volume 6 – 2019. – URL: <https://developer.varjo.com/lab-tools> <https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00098>.
4. BMW Group uses virtual reality engineering in its vehicle development BMW. – URL: <https://www.bmw.com/en/events/nextgen/global-collaboration.html/> 2022.
5. Unreal Engine 5.1 Documentation. – URL: <https://docs.unrealengine.com/5.1/en-US>.
6. Craig Jamieson, BMW is now offering ‘mixed reality’ test drives that include VR goggles. – URL: <https://www.topgear.com.ph/news/technology-news/bmw-mixed-reality-test-drive-tguk-a2633-20221111/>.
7. The world’s first mixed reality test drive. – URL: <https://varjo.com/testimonial/xr-test-drive-with-volvo>.
8. Research driving simulator. – URL: <https://cs-driving-simulator.com/research-driving-simulator>.
9. Михайлов, В.Г. Компьютерное и имитационное моделирование автомобиля: монография / В.Г. Михайлов. – Минск : Белнауча, 2020. – 316 с.
10. Мишуга, Д.В. Разработка и создание мобильных комплексов: монография / Д.В. Мишуга, В.Г. Михайлов. – Минск : ООО «ПОЛИТКРАФТ», 2022. – 305 с.
11. Михайлов, В. Г. О выборе моделей, средств для симулятора автомобиля со смешанной реальности / В.Г. Михайлов. – URL: <https://itech.cifra.science/archive/1-1-2024-january/10.18454/itech.2024.1.2?ysclid=1xt2jc239x767966416/>.
12. Михайлов, В. Г. Моделирование системы "дорога-автомобиль-водитель", симуляторы, смешанная реальность / В. Г. Михайлов. – Минск : б/и, 2023. – 390 с. – ISBN 978-985-08-2617-6. – EDN BNBGMU.
13. Ротенберг, Р.В. Подвеска автомобиля / Р.В. Ротенберг. – Москва : Машиностроение, 1972. – 392 с.

References

1. URL: https://www.youtube.com/watch?v=CxIoll_YsK0 Video: Mercedes-Benz Driving Simulator Is Industry Leader.
2. URL: <https://varjo.com/vr-lab/mixed-reality-driving-simulation/>.
3. URL: <https://developer.varjo.com/lab-tools>
<https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00098>.
4. URL: <https://www.bmw.com/en/events/nextgen/global-collaboration.html/> 2022.
5. URL: <https://docs.unrealengine.com/5.1/en-US>.
6. URL: <https://www.topgear.com.ph/news/technology-news/bmw-mixed-reality-test-drive-tguk-a2633-20221111/>.
7. URL: <https://varjo.com/testimonial/xr-test-drive-with-volvo>.
8. URL: <https://cs-driving-simulator.com/research-driving-simulator>.
9. Mikhailov V.G. *Komp'yuternoye i imitatsionnoye modelirovaniye avtomobilya* (Computer and simulation modeling of a car), Minsk, Belnauka, 2020, 316 p.
10. Mishuta D.V., Mikhailov V.G. *Razrabotka i sozdaniye mobil'nykh kompleksov* (Development and creation of mobile complexes), Minsk, ООО "POLITKRAFT", 2022, 305 p.
11. Mikhailov, V.G. – URL: <https://itech.cifra.science/archive/1-1-2024-january/10.18454/itech.2024.1.2?ysclid=1xt2jc239x767966416/>.
12. Mikhailov V.G. *Modelirovaniye sistemy "doroga-avtomobil'-voditel'", simulyatory, smeshannaya real'nost'* (Modeling of the "road-car-driver" system, simulators, mixed reality), Minsk: no publications, 2023, 390 p., ISBN 978-985-08-2617-6.
13. Rotenberg R.V. *Podveska avtomobilya* (Car suspension), Moscow, Mashinostroenie, 1972, 392 p.

Рецензент: Ю.Д. Карпиевич, д-р тех. наук, проф., Белорусский национальный технический университет

Информация об авторах

Михайлов Владимир Георгиевич, канд. техн. наук, инженер.

Information about the authors

Mikhailov Vladimir G., Candidate of Sciences (Technical), engineer.

Статья поступила в редакцию 04.07.2024; одобрена после рецензирования 30.08.2024; принята к публикации 16.09.2024.

The article was submitted 04.07.2024; approved after reviewing 30.08.2024; accepted for publication 16.09.2024.