

УДК 629.3

О ПОДХОДАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ И КОЛЕБАНИЙ АВТОМОБИЛЯ ПРИ СМЕШАННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Михайлов Владимир Георгиевич, канд. техн. наук,
РБ, Минск, sapr7@mail.ru,

Аннотация. Рассмотрены подходы и решения реализации имитационного моделирования при смешанной реальности для проведения исследований автомобиля, базирующиеся на:

- отработанных моделях движения и колебаний автомобиля, его управляемости;
- предложенном схемном решении визуализации в шлеме MR на основе его настроек;
- предложенном обоснованном алгоритме решения эргономики при смешанной реальности с использованием трекеров.

Предложен подход реализации задачи эргономики кабины, основанный на:

- получении в 3D модели кабины в Creo данных позиционирования органов управления;
- занесении этих данных в созданную программу на C/C++ в MS Visual Studio с помощью SDK для считывания данных с трекеров руки;
- считывании значений с датчиков трекингов рук через SDK в процессе совместного моделирования автомобиля и сравнение их со значениями, заложенными в память;
- выдаче сигнала на электромоторы кончиков пальцев либо звукового при их совпадении, создавая ощущение соприкосновения.

Выяснено, что гораздо проще осуществлять визуализацию обстановки при помощи настройки в шлеме HTC Vive для воспроизведения Video дорожной обстановки с компьютера. Для этого требуется использование собственного проигрывателя видео с управляемой частотой просмотра кадров, соответствующих скорости движения. И отдельно необходимо рассматривать эргономику автомобиля.

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

ABOUT APPROACHES OF MODELING OF THE MOVEMENT AND FLUCTUATIONS OF THE CAR, INCLUDING THE MIXED REALITY

Mikhailov Vladimir G., Ph.D., associate professor,
Minsk, Republic Belarus, sapr7@mail.ru,

№ 4(34)
декабрь 2022

Abstract. Approaches and solutions of realization of imitating modeling are considered, at the mixed reality for carrying out probes of the car, based on:

- the fulfilled models of the movement and fluctuations of the car, its controllability;
- the proposed circuit solution of visualization in MR helmet on the basis of its settings;
- the offered reasonable algorithm of the solution of ergonomics at the commixed reality with use of trackers.

The approach of realization of problem of ergonomics of cabin based(founded) on is offered:

- receiving in cabin 3D model in Creo of data of positioning of governing bodies;
- entering of these data in the created program on C/C ++ in MS Visual Studio by means of SDK for data read-out from hand trackers;
- reading of values from sensors of trackings of hands through SDK in the course of joint modeling of the car and their comparison with the values put in memory;
- to signal output on electric motors of finger-tips or sound at their coincidence, creating feeling of contact.

It is found out that it is much simpler(easier) to carry out visualization of situation by means of control in HTC Vive helmet for reproduction of Video of road situation from the computer. For this purpose use of own player of video with steered(controlled) frequency of viewing the shots corresponding to the speed of the movement is required. Also it is separately necessary to consider(examine) car ergonomics.

Key words: modeling of the car, software, helmet, virtual reality, commixed reality.

Введение. Сегодня в практике создания нового автомобиля используются компьютерные технологии моделирования, охватывающие основные задачи: движения, колебаний и управляемости автомобиля. Эти задачи могут решаться по отдельности либо в комплексе (рисунок 1). И очень важно участие водителя в этом процессе.

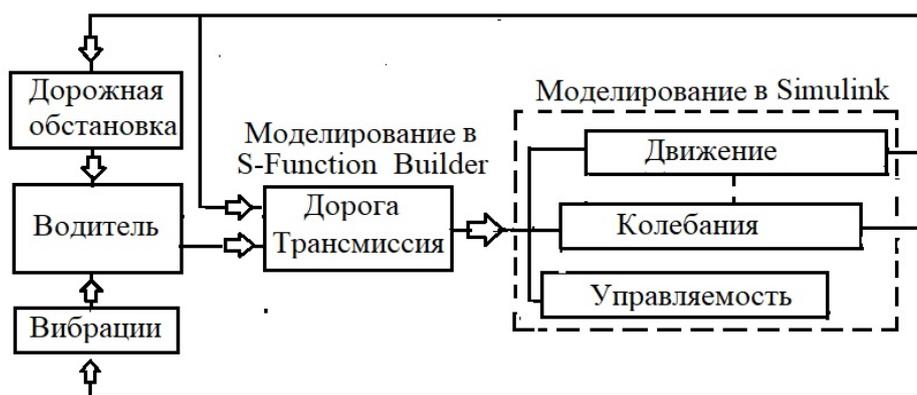


Рис. 1. Общая схема моделирования основных систем автомобиля

Для реализации указанных задач применяются следующие методы:

- компьютерное моделирование без участия водителя;
- имитационное моделирование на стенде с участием водителя в качестве управляющего звена движения;
- виртуальной/дополненной/смешанной реальности в сочетании с имитационным моделированием.

Ключевым во всех этих методах является использование массивов макро и микропрофиля дороги, совершенных моделей без которых невозможно проведение корректного моделирования.

При компьютерном моделировании из этой схемы исключаются связи водителя по дорожной обстановке и воздействию на него вибраций. Хотя возможно вводить ограничения скорости движения от уровня вибраций и помех на дороге в программе S-Function Builder.

При имитационном моделировании задействуется водитель для управления и осуществляется визуализация дорожной обстановки на экране компьютера/видеопанели или экране проектора, а также воздействие вибростенда. Имитационное моделирование требует использования макетного образца кабины для более полного воссоздания реальной обстановки. Но как показывает практика не всегда удается реализовать реальное ощущение присутствия у водителя.

Сейчас для снижения затрат начали широко использовать методы виртуальной **VR**/дополненной **AR**/смешанной **MR** реальности [1–3, 6–9], чтобы усилить атмосферу погружения в обстановку с одновременной реализацией имитационного моделирования, чтобы создать иллюзию у водителя, что он находится в машине во время движения и управляет ею (рисунок 2) [9]. В шлеме должна показываться передняя панель машины.



Рис. 2. Использование смешанной реальности при отработке эргономики Бентли

Последние представляют компьютерные технологии воспроизведения обстановки в кабине и дороге с помощью специального шлема и программного обеспечения (ПО), погружающего более полно испытуемого водителя в мир реальной обстановки. Благодаря чему можно путем моделирования основных систем более точно оценить режим движения автомобиля, нагрузки на узлы и провести их ресурсные испытания в стендовых условиях, а также оценить управляемость автомобиля, отработать эргономику рабочего места в движении, не подвергая риску водителя.

Целью данной работы является рассмотрение ключевых моментов и подходов при проведении различных методов моделирования.

2. Ключевые моменты моделирования

2.1. Использование реального макро и микропрофиля дороги

Во всех случаях для получения корректных результатов моделирования важно использование реального макро и микропрофиля дороги. Получить их можно путем замеров ускорений поддресоренных и неподдресоренных масс автомобиля либо тензометрированием нагрузок на балку моста и их ускорений с последующим преобразованием в Simulink [10]. Наилучшим решением для всех видов моделирования является использование реального макро и микропрофиля дороги в виде совместного массива данных, заданного по точкам с шагом 0,1–0,125 м, размещенного в оперативной памяти. Для реализации этого необходима разработка программы на C/C++ для модуля S-Function Builder в Simulink, что позволяет хранить 96000 точек пути (12500 м дороги) с интерполяцией промежуточных точек по методу Catmull-Rom, возможностью дополнительной подкачки и вести моделирование с переменной скоростью движения, как это сделано в работе [10]. Данный подход является ключевым моментом для реализации режима реального времени и определения режима движения и нагруженности автомобиля. Применение случайного возмущения на основе генератора белого шума с использованием спектральных плотностей дорог не позволяет реализовать режим переменной скорости движения, задержек по осям. Вопросы получения и использования макро и микропрофиля дороги требуют новых подходов, включая разработку способов записи реального макро и микропрофиля дороги в том числе на основе GPS.

2.2. Использование корректных характеристик элементов подвески, трансмиссии автомобиля

Другим важным моментом является использование более корректных характеристик элементов подвески, трансмиссии и их моделей [10] (рисунок 3), обеспечивающих погрешность не более 10–15 % с учетом спектра на реальной дороге, чтобы затраты оправдывали его.

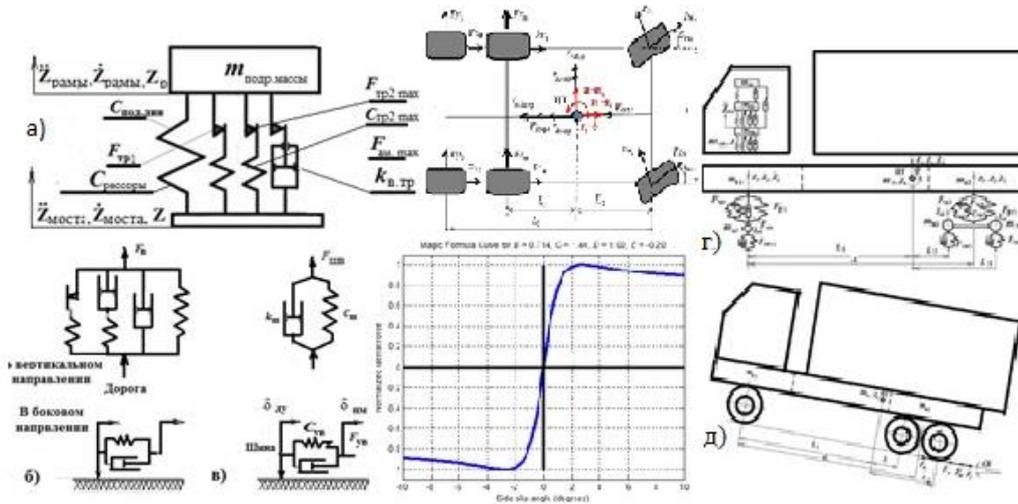


Рис. 3. Характеристики и модели упругих и демпфирующих элементов и автомобиля

Характеристику упругого элемента необходимо рассматривать как сумму характеристик упругого элемента и трения. Большинство исследователей применяют простую зависимость $F_p = f(\Delta l)$ и используют модель “вязкого” трения. В работе [5] предложена блок-схема реализации на аналоговых машинах модели рессоры без ее математического описания, которая обеспечивает хорошее совпадение по спектру. Однако многим модель была непонятна и на нее не обратили внимание. Из-за этого она не получила применения, но сейчас ее использует Mercedes Benz, исходя из видео (картины зависимости упругого элемента).

В совокупности с использованием реального микропрофиля дороги это позволяет уменьшить расхождение по вибрациям с 50 % до 10–15 % [6]. В работе [10] приведено ее математическое описание в виде:

$$F_{p,ст} = c_{p,ст} (Z_{нм} - Z_{пм});$$

$$\begin{aligned}
 & [c_{\text{дин1}} \int_0^t (\dot{Z}_{\text{нм}} - \dot{Z}_{\text{пм}}) dt \text{ если } F_{\text{тр1}} > c_{\text{од.дин}} \int_0^t (\dot{Z}_{\text{нм}} - \dot{Z}_{\text{пм}}) dt > -F_{\text{тр1}}; \\
 F_{\text{тр1}} = & \left\{ \begin{array}{ll} F_{\text{тр1}}, & (-) c_{\text{под.дин1}} \int_0^t (\dot{Z}_{\text{пм}} - \dot{Z}_{\text{нм}}) dt > F_1; \\ -F_{\text{тр1}}, & (-) c_{\text{од.дин1}} \int_0^t (\dot{Z}_{\text{нм}} - \dot{Z}_{\text{пм}}) dt < -F_1; \end{array} \right. \\
 & [c_{\text{под.дин2}} \int_0^t (\dot{Z}_{\text{нм}} - \dot{Z}_{\text{пм}}) dt \text{ если } F_{\text{тр2}} > c_{\text{под.дин}} \int_0^t (\dot{Z}_{\text{нм}} - \dot{Z}_{\text{пм}}) dt > -F_{\text{тр2}}; \\
 F_{\text{тр2}} = & \left\{ \begin{array}{ll} F_{\text{тр2}}, & (-) c_{\text{под.дин2}} \int_0^t (\dot{Z}_{\text{пм}} - \dot{Z}_{\text{нм}}) dt > F_2; \\ -F_{\text{тр2}}, & (-) c_{\text{под.дин2}} \int_0^t (\dot{Z}_{\text{нм}} - \dot{Z}_{\text{пм}}) dt < -F_2; \end{array} \right. \\
 & [k_{\text{в.тр}} (\dot{Z}_{\text{нм}} - \dot{Z}_{\text{пм}}) \text{ если } F_{\text{тр5max}} > k_{\text{сп}} (\dot{Z}_{\text{нм}} - \dot{Z}_{\text{пм}}) > -F_{\text{ам.мах}}; \\
 F_{\text{ам}} = & \left\{ \begin{array}{ll} F_{\text{ам.мах}}, & (-) k_{\text{сп}} (\dot{Z}_{\text{сид}} - \dot{Z}_{\text{гр}}) > F_{\text{ам.мах}}; \\ -F_{\text{ам.мах}}, & (-) k_{\text{сп}} (\dot{Z}_{\text{сид}} - \dot{Z}_{\text{гр}}) < -F_{\text{ам.мах}}; \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

$$F_{\text{рес}} = F_{\text{р.ст}} + F_{\text{тр1}} + F_{\text{тр2}} + F_{\text{ам}},$$

где $c_{\text{р.ст}}$, – жесткость рессоры в статике; $c_{\text{р.дин1}}$, $c_{\text{р.дин2}}$ – жесткость рессоры при блокировке подвески; $F_{\text{тр}}$, $F_{\text{тр2}}$, – величина усилия при трении 1, 2; $F_{\text{р1max}}$, $F_{\text{р2max}}$ – максимальная величина трения 1, 2; $k_{\text{в.тр}}$ – коэффициент “вязкого” трения;

$F_{\text{ам}}$ – максимальная величина “вязкого” трения.

И аналогичным способом может быть описана характеристика увода шины [10], необходимая для реализации управляемости автомобиля.

Для моделирования в AR, MR помимо движения и колебаний требуются 3D модели внутренней передней части кабины, руля, которые должны воспроизводиться в шлеме с визуализацией дорожной обстановки.

3. Визуализация дорожной обстановки

3.1. Визуализация дорожной обстановки является важным компонентом моделирования. Для имитационного моделирования визуализация может быть реализована с помощью проекторов с большими экранами [10] либо на мониторах. Данное решение может быть использовано и для AR/MR реальности, но это не создает реального эффекта

присутствия в кабине из-за искусственной обстановки вокруг, которую видит водитель.

Пакеты Unity, Unreal Engine [4] позволяют реализовать обстановку в кабине, воздействие водителя на органы управления, ландшафт местности, включая упрощенно дорогу без ее реального макро и микропрофиля, что приемлемо для игр, но не подходит для целей исследований. Эти пакеты больше ориентированы на создание презентаций марок автомобилей, рекламы, фильмов. Неясно как в них осуществить визуализацию реальной дорожной обстановки синхронно с перемещением по дороге. Хотя в пакетах имеется возможность демонстрации видео в прямоугольном окне с использованием стандартного проигрывателя, но это не подходит для целей моделирования. Однако делать окончательный вывод по ним преждевременно из-за их недостаточной еще изученности.

Представляется более рациональным для моделирования движения использование реальной видеозаписи, осуществленной из кабины при движении автомобиля, выполненной при фиксированной скорости с последующим ее воспроизведением на компьютере, большой видеопанели и в шлеме с частотой кадров пропорционально скорости движения [10]. Для чего необходимо использование собственной разработанной программы визуализации, где можно менять частоту просмотра, как в работе [10].

3.2. В шлемах HTC и Oculus имеется возможность установки режима воспроизведения видео, реализуемого в компьютере путем следующих процедур.

В приложении Vive Home:

1. Нажмите кнопку «Меню» и выберите Объекты.
2. Выберите .
3. Выберите , а затем найдите желаемую видеозапись на

компьютере.

4. Используйте элементы управления для воспроизведения или приостановки видео, регулировки громкости звука и т. д.
5. Выберите , чтобы зафиксировать видеопроигрыватель таким образом, чтобы он перемещался вместе с вашим взглядом.
6. Выберите , чтобы приглушить освещение во время просмотра видеозаписи.
7. Выберите , чтобы просматривать видеозапись с полным эффектом присутствия в виртуальной реальности.

Можно выбрать формат просмотра (моноскопический и несколько стереоскопических), который соответствует видеозаписи.

И на основе такого подхода осуществлять моделирование движения со смешанной реальности с максимальной иллюзией участия в водителем этом движении.

4. Проработка эргономики кабины

Для решения задачи проработки эргономики кабины [8] (рисунок 4, а) на основе смешанной реальности предлагается следующий подход (алгоритм):

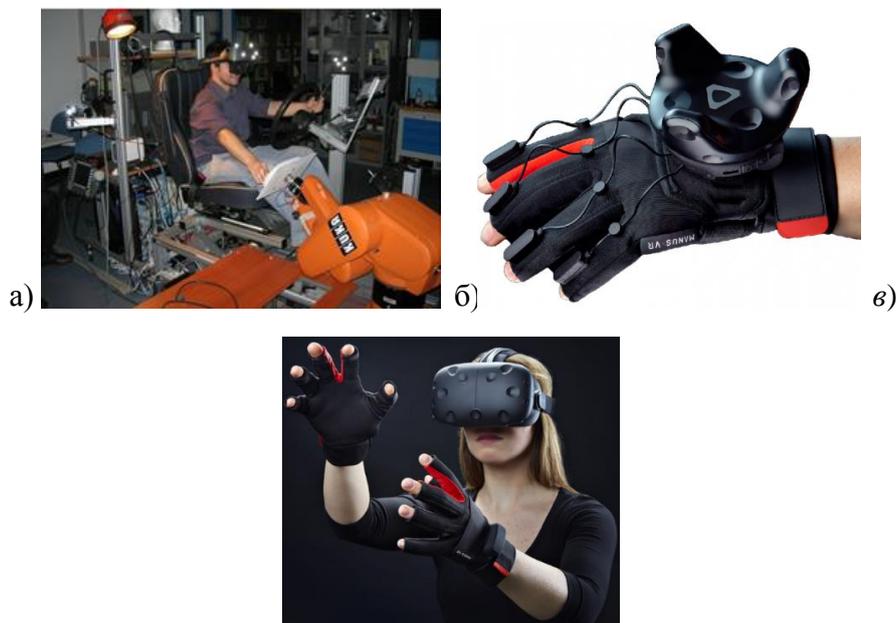


Рис. 4. Стенд для исследования эргономики (а), общий вид перчаток Manus gloves (б) с контроллером (трекером) HTC Vive wand (в)

- разрабатываются 3D модели водителя и кабины в пакете Creo;
- создается программа на C/C++ в MS Visual Studio для считывания данных с трекеров перчаток руки (рисунок 4, а, б) на основе SDK [6, 7];
- выбирается базовая точка в 3D модели Creo Parametric [4], и от нее определяются координаты исследуемого органа управления (например, ручка КПП, клавиша чего-то), их значения x , y , z . Вначале на основе 3D моделей определяется возможность дотянуться до того или иного органа управления. Далее эти значения закладываются в память программы определения положения руки;
- проводится моделирование движения и колебаний автомобиля совместно с моделированием MR, в процессе которых испытуемый пытается дотянуться визуально в шлеме до органа управления (например, ручки КПП) и выполнить операцию с ней;
- считываются значения с датчика трекинга перчатки руки через SDK. И на основе полученных значений от позиционирования сравниваются со значениями, заложенными в память. При их совпадении должен поступать сигнал на электромоторы кончиков пальцев либо звуковой, создавая ощущение соприкосновения.

И на основании всего этого судить о правильности созданной компоновки кабины, удобства эргономики, а также осуществление оценки других параметров.

Важно при этом, чтобы водитель осуществлял “управление” автомобилем (отслеживание траектории движения), что способствует его погружению в процесс движения, т.е. одновременно должна решаться задача управляемости и движения.

5. Реализация смешанной реальности

Для реализации предлагается следующая схема смешанной реальности (рисунок 5) с использованием шлема, видеопанели или

монитора и конструкции простого стенда для создания иллюзии нахождения водителя в кабине на сиденье, с руками на руле и педалях.

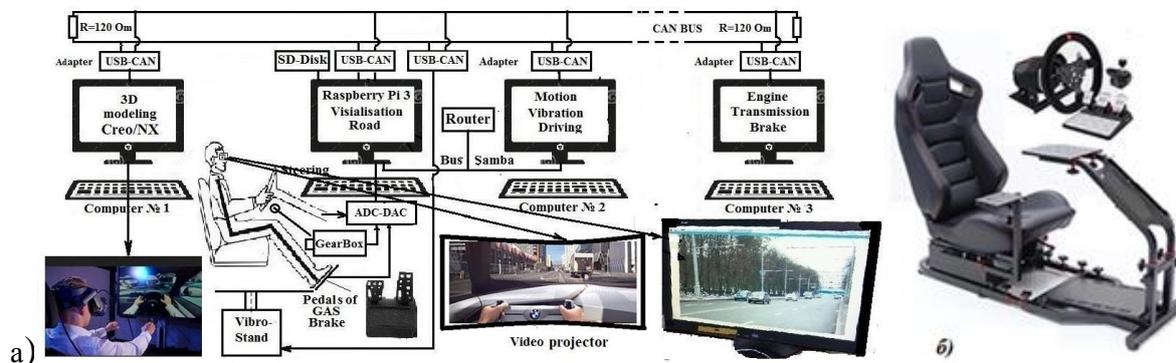


Рис. 5. Предлагаемая схема реализации моделирования с AR/MR реальностью (а), конструкция стенда на Aliexpres.com (б)

При реализации в Simulink может использоваться отработанная блок-схема движения, колебаний и управляемости автомобиля [10], приведенная на рисунке 6.

Данная схема включает в себя использование датчиков педалей газа, номера передачи КП (галетного переключателя), поворота руля на основе потенциометров, с которых снимается электрический сигнал и подается через АЦП в Raspberry 3/4, а из него записывается в файл обмена с Simulink и эти данные используются в процессе моделирования.

Кроме того, в данной блок-схеме учитываются частичные характеристики двигателя, определяется расход топлива и вибронгруженность автомобиля.

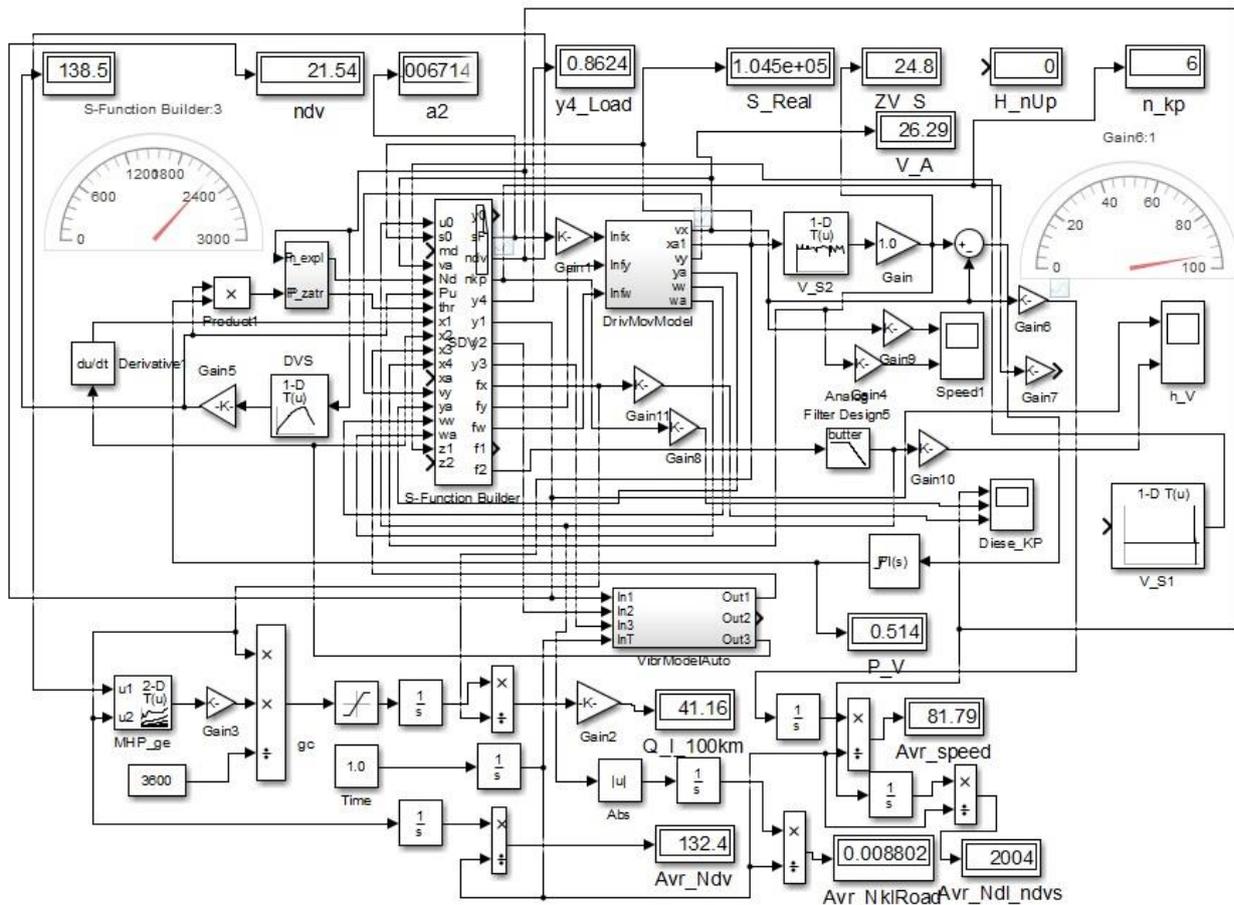


Рис. 6. Блок-схема реализации имитационного моделирования с AR/MR в Simulink

6. Обобщение. Исходя из проработки вопросов визуализации движения в пакетах Creo 9.02, Vuforia Studio 10.2, Unreal Engine 5.1 следует, что гораздо проще осуществлять это с помощью настройки параметров шлема HTC Vive для воспроизведения Video с компьютера [9] и не использовать их для данной задачи. Для решения задачи эргономики необходимо выполнение процедур по п.3.

К сожалению, полностью реализовать все это в комплексе схемы (рисунок 5) не удалось из-за отсутствия у меня шлема, 6DoF стенда, 3D модели кабины и нежелания заводов заниматься этим. Пришлось обрабатывать основные решения по частям в т.ч. в других организациях, имеющих шлем и на настольном макетном стендовом образце [10].

Заключение

1. Рассмотрены подходы и решения реализации имитационного моделирования с использованием смешанной реальности для проведения исследований автомобиля, базирующиеся на:

- отработанных моделях движения и колебаний автомобиля, его управляемости [10];
- предложенном схемном решении визуализации движения в шлеме MR на основе его настроек;
- предложенном обоснованном алгоритме решения эргономики при смешанной реальности с использованием трекеров.

2. Выяснено, что гораздо проще осуществлять визуализацию обстановки при помощи настройки в шлеме HTC Vive для воспроизведения Video дорожной обстановки с компьютера. Для этого требуется использование собственного проигрывателя видео с управляемой частотой просмотра кадров, соответствующих скорости движения, а для эргономики нужен другой подход.

3. Предложен следующий подход реализации задачи эргономики кабины, основанный на:

- получении в 3D модели кабины в пакете Creo данных позиционирования органов управления;
- занесении этих данных в созданную программу на C/C++ в MS Visual Studio с помощью SDK для считывания данных с трекеров руки;
- программном считывании значений с датчиков трекингов рук через SDK в процессе совместного моделирования автомобиля и сравнение их со значениями, заложенными в память;
- выдаче сигнала на электромоторы кончиков пальцев либо звукового при их совпадения, создавая ощущение соприкосновения. И на основании всего этого судить о правильности созданной компоновки кабины, удобства эргономики.

Список литературы

1. Björn Blissing, Driving in Virtual Reality Requirements for Automotive Research and Development / Dissertations No. 2085, Linköping Studies in Science and Technology, Division of Machine Design Department of Management and Engineering Linköping University, SE-581 83 Linköping, Sweden, 2020. – URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1459751/FULLTEXT01.pdf>.
2. Mark McGill, Challenges in passenger use of mixed reality headsets in cars and other transportation // Mark McGill, Julie Williamson, Alexander Ng, Frank Pollick, Stephen Brewster. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-019-00420-x> / Published: 18 December 2019.
3. Augmented Reality (AR) in Creo. – URL: https://www.irisoft.ru/ptc_files/Datasheet-Augmented_Reality_In_Creo-en.pdf?ysclid=l4qo3kxnp926975499
4. Unreal Engine 5.1 Documentation. – URL: <https://docs.unrealengine.com/5.1/en-US>
5. Кольцов, В.И. Модель листовой рессоры / В.И. Кольцов, Ю.В. Пирковский, В.И. Ковицкий // Автомобильная промышленность. – 1970. – № 10. – С. 14–16.
6. Documentation English VIVEPORT SDK. – URL: <https://developer.vive.com/resources/viveport/sdk/documentation/english/viveport-sdk/>.
7. SERLatBTH / StarterGuide-VivePortVR. – URL: <https://github.com/SERLatBTH/StarterGuide-VivePortVR?ysclid=la6jbnjq3151409655>.
8. Giandomenico Caruso, Mixed reality System for Ergonomic Assessment of Driver's Seat // Department of Mechanical Engineering – Politecnico di Milano 2015, Italy. The International Journal of Virtual Reality, 2015, 10 (2):69-79 69.
9. Воспроизведение видео в приложении Vive Home. – URL: <https://mcgrp.ru/files/viewer/296494/70?ysclid=lbaqxd5s791512283>.
10. Михайлов, В.Г. Компьютерное и имитационное моделирование автомобиля / В.Г. Михайлов. – Минск: Белнаука, 2020. – 316 с.

References

1. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1459751/FULLTEXT01.pdf>.
2. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-019-00420-x> / Published: 18 December 2019.
3. URL: https://www.irisoft.ru/ptc_files/Datasheet-Augmented_Reality_In_Creo-en.pdf?ysclid=l4qo3kxnp926975499

4. URL: <https://docs.unrealengine.com/5.1/en-US>
5. Kol'tsov V.I., Pirkovskiy YU.V., Kovitskiy V.I. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 1970, no.10, pp. 14–16.
6. URL:
<https://developer.vive.com/resources/viveport/sdk/documentation/english/viveport-sdk/>.
7. URL: <https://github.com/SERLatBTH/StarterGuide-VivePortVR?ysclid=la6jbnjfq3151409655>.
8. Giandomenico Caruso, Mixed reality System for Ergonomic Assessment of Driver's Seat // Department of Mechanical Engineering – Politecnico di Milano 2015, Italy. *The International Journal of Virtual Reality*, 2015, 10 (2):69-79 69.
9. URL: <https://mc.gpr.ru/files/viewer/296494/70?ysclid=lbahqxvd5s791512283>.
10. Mikhailov V.G. *Komp'yuternoe i imitacionnoe modelirovanie avtomobilya* (Computer and simulation car modeling), Minsk, Belnauka, 2020, 316 p.

Рецензент: Н.Н. Гурский, канд. техн. наук, доц., Белорусский национальный технический университет