

**ПРИМЕНЕНИЕ HIL - ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ**  
**APPLICATION OF HIL - TECHNOLOGIES FOR MODELING OF MANAGEMENT SYSTEMS OF CARS**

**А.В. Шмелев**, канд. техн. наук, **Д.А. Швец**,  
**А.Г. Выгонный**, канд. техн. наук, **А.Н. Колесникович**,  
**С.В. Хитриков**, **Д.Г. Лопух**, **О.В. Дробышевская**  
ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Беларусь  
A. Shmaliou, Ph.D. in Engineering, D. Shvets,  
A. Vygonny, Ph.D. in Engineering, A. Kalesnikovich, S. Khitrikov,  
D. Lopukh, O. Drobyshevskaya  
State Scientific Institution "Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Belarus

*В работе рассмотрена актуальность применения HIL-технологий при моделировании систем управления автомобилей в режиме реального времени. Представлен опытный макет системы управления движением грузового автомобиля по заданным дорожным условиям.*

*The study examined the relevance of the use of HIL-technology in the simulation of car control systems in real time. A prototype model of a truck traffic control system for specified road conditions is presented.*

*Ключевые слова: HIL – технологии, система управления автомобилем, система реального времени, виртуальное моделирование.*

*Key words: HIL - technology, car control system, real-time system, virtual test.*

## ВВЕДЕНИЕ

Технология аппаратно-программного моделирования HIL (Hardware-in-the-Loop) первоначально была методом тестирования контроллеров (авиационных, автомобильных), где объект управления заменяется математической моделью, реализованной на ЭВМ в системе реального времени. Контроллер через интерфейс обменивается сигналами с моделью так, как это происходило бы на реальном техническом объекте.

Современные автомобильные электронные системы и подсистемы становятся все более сложными и многопрофильными. Тенденции внедрения различных электронных помощников водителю, вплоть до возможностей беспилотного вождения, повышения уровня безопасности и др., обусловили необходимость использования большего количества электроники и программного обеспечения. Все это в корне меняет и подходы к разработке и проектированию этих систем. Электронные блоки управления (ECU), которые управляют различными подсистемами автомобиля с помощью встроенного программного обеспечения и заданных алгоритмов работы, имеют множество входов и выходов, что значительно усложняет процесс их натурной доводки из-за многовариантности сценариев развития ситуации.

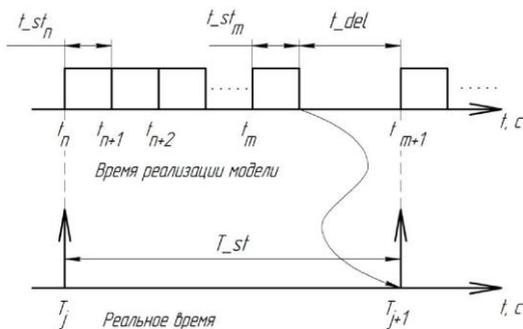
Тестирование автомобильных подсистем на полностью собранном прототипе является дорогостоящим и сопряжено с риском преждевременного выхода из строя макетного образца системы из-за ошибки на раннем этапе доводки проектируемого оборудования (системы). Эти задачи успешно решаются методами HiL-технологий при совместной работе математических моделей объектов управления и реального оборудования путем подключения реальных сигналов от блока управления к виртуальной модели тестируемой системы. Это позволяет проводить доводку системы на ранних этапах и эффективно выявлять потенциальные проблемы.

## СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ HiL-ТЕХНОЛОГИИ

Процесс моделирования в режиме реального времени может быть описан при помощи схемы, представленной на рисунке 1.

Из представленной на рисунке 1 схемы следует, что для обеспечения работы в режиме реального времени при выполнении численного интегрирования модели в течение каждого временного шага должен быть осуществлен расчет определенного количества циклов моделирования (шагов интегрирования) и реализована задержка для синхронизации с реальным временем. Следует заметить, что за один шаг реального времени допустимо выполнение только одного шага моделирования с последующей задержкой.

Система реального времени – это аппаратно-программный комплекс, реагирующий в предсказуемые интервалы времени на непредсказуемый поток внешних событий. Корректность функционирования такой системы определяется не только корректностью выполнения вычислений, но и временем, в которое получен требуемый результат. Если требования по времени не выполняются, то считается, что произошел отказ системы. Системы реального времени подразделяются на системы «жесткого» «мягкого» и «комбинированного» реального времени.



$T_j, T_{j+1}$  – текущие значения реального времени, с;  $T_{st}$  – временной шаг, с;  $t_n \dots t_{m+1}$  – текущие значения модельного времени, с;  $t_{st_n} \dots t_{st_{m+1}}$  – шаги численного интегрирования, с;  $t_{del}$  – длительность задержки при выполнении численного интегрирования, с;  $n \dots m+1$  – порядковые номера шагов численного интегрирования;  $j \dots j+1$  – порядковые номера отсчетов реального времени  
Рисунок 1 – Реализация математической модели в режиме реального времени [2]

Системой «жесткого» реального времени называется система, где неспособность обеспечить реакцию на какие-либо события в заданное время является отказом и ведет к невозможности решения поставленной задачи, т.е. системы жесткого реального времени не допускают никаких задержек реакции системы ни при каких условиях.

В большинстве автомобильных систем используется системы «жесткого» реального времени, например, система рулевого управления, система управления двигателем; система торможения; подушки безопасности и др.

Особенность расчетов в режиме жесткого реального времени заключается в том, что разрабатывается математическая модель объекта управления в программной среде, поддерживающей генерацию

C-кода (например, Matlab/Simulink, Labview и т.п), либо преобразование многокомпонентной модели (MBS) для использования в системе реального времени. Схема преобразования многокомпонентной модели в программном комплексе ADAMS в модель для расчета в системе реального времени, приведена на рисунке 2.

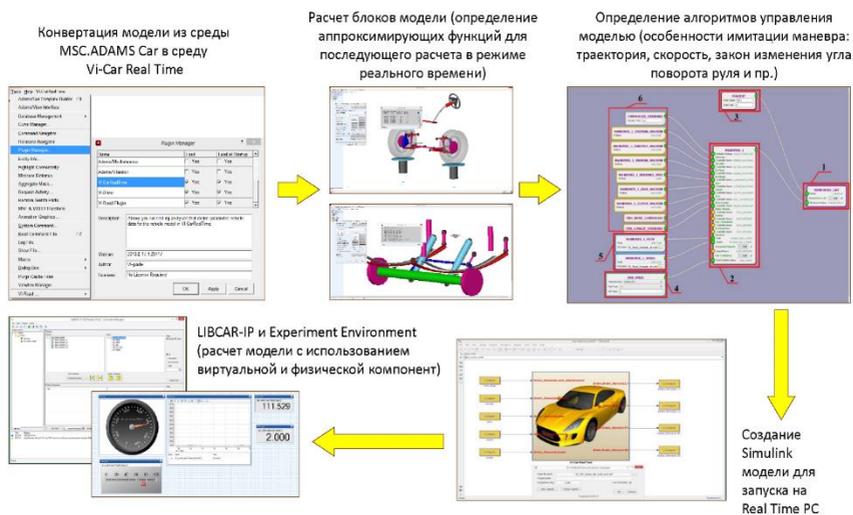


Рисунок 2 – Схема преобразования многокомпонентной модели в модель для расчета в системе реального времени, на примере модели в ADAMS [2]

## ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ HIL – ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

По мере увеличения количества различных систем управления, применяемых в автомобилях, возрастает потребность применения HIL-технологии для проверки и валидации их функционала в ограниченные сроки. Системы помощи водителю (ADAS, Advanced driver-assistance systems) являются первым этапом в направлении движения к беспилотному управлению автомобилем. Ярким примером использования HIL-технологий является система помощи водителю ADAS с использованием принципа sensor fusion ADAS HIL Test Environment Suite фирмы Altran [1]. В работе [2] приведен пример HIL-системы, воспроизводящей прямолинейное движение автомобиля и состоящей из реального двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и его систем (охлаждение, очистка отработавших газов и т.д.),

виртуальных моделей остальных частей силового агрегата и модели автомобиля.

В Объединенном институте машиностроения в настоящее время изучается мировой опыт и тестируются различные подходы к проектированию систем управления автомобильной техники на основе НН-технологий. В этих целях был собран макет системы управления движением грузового автомобиля по заданным дорожным условиям на основе ПК, сенсорных датчиков, имитирующих органы управления водителя (рулевое колесо, педали управления акселератора и тормоза), программ ADAMS, Matlab Simulink и интерфейсного модуля связи (MCC USB-1208HS-4AO) сенсорных датчиков с программой Matlab Simulink. Схема разработанного макета системы управления движением грузового автомобиля представлена на рисунке 3.

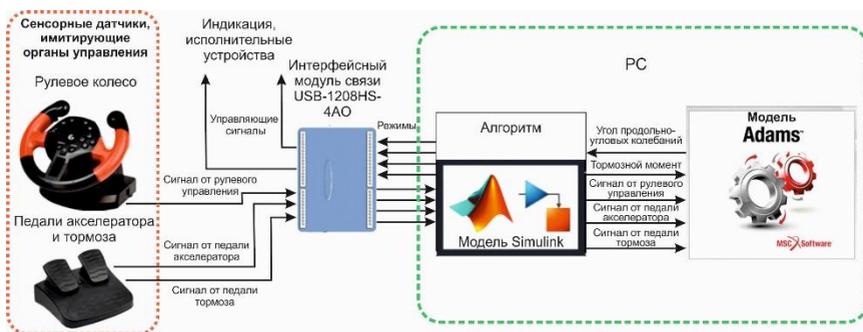


Рисунок 3 – Схема разработанного макета системы управления движением грузового автомобиля

Модель грузового автомобиля с моделью дорожных условий, включающих микро- и макропрофили дорожного полотна разработаны в программе ADAMS. В Matlab Simulink разработана программа приема и преобразования управляющего сигнала от органов управления для передачи в ADAMS в процессе моделирования. Система позволяет провести качественную оценку управляемости и маневренности автомобиля в заданных дорожных условиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показана актуальность применения НН-технологий при моделировании систем управления автомобилей. Драйвером развития в

этом направлении являются технологии беспилотного управления автомобилями. Системы помощи водителю (ADAS) являются первым этапом в направлении движения к беспилотному управлению автомобилем. В Объединенном институте машиностроения на основе высокопроизводительного ПК, сенсорных датчиков, имитирующих органы управления водителя, программ ADAMS, Matlab Simulink и интерфейсного модуля связи (МСС USB-1208HS-4АО) сенсорных датчиков с программой Matlab Simulink создан опытный макет системы управления движением грузового автомобиля по заданным дорожным условиям, который позволяет провести качественную оценку управляемости и маневренности модели автомобиля в заданных дорожных условиях и демонстрирует потенциальные возможности HiL-технологий при решении задач моделирования систем управления автомобилей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Belanger J., Venne P., Paquin J. N. The what, where and why of real-time simulation // Transactions on Power Delivery. 2009. V. 24, N. 2. P. 390–399.
2. Зотов, В.М. Проблемы численного моделирования динамических процессов в реальном времени и возможные пути их решения / В.М. Зотов, Н.М. Зотов, А.В. Федин // Математика. Компьютер. Образование: сборник научных трудов. 2000. Т. 7, ч. 2. С. 597–603.
3. Вашурин, А.С., Тумасов, А.В., Торопов, Е.И., Васильев, А.В. Опыт применения технологий Hardware-in-the-LoopSimulation(HiL) для оценки управляемости легких коммерческих автомобилей, оснащенных электронными системами контроля устойчивости / А.С. Вашурин // Форум MSC 2018: материалы XXI Международной конференции пользователей программных комплексов MSC Software, г. Москва, 24–25 октября 2018 г.
4. Altran and NI Demonstrate ADAS HIL with Sensor Fusion. [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access: <http://www.ni.com/white-paper/53961/ru/#toc3>. – Date of access: 19.11.2018.
5. Fathy, H.K. Review of Hardware-in-the-Loop Simulation and Its Prospects in the Automotive Area / H.K.Fathy, Z.S.Filipi, J. Hagena, J.L.Stein. – Proceedings SPIE Int. Soc. Opt. Eng., Vol. 6228, 2006.

Представлено 14.05.2020