

## Лабораторное тестирование систем ADAS на этапе проектирования для автомобилей массового сегмента

Н. Д. Хоминский, В. А. Краснокутский

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет» (г. Донецк)  
кафедра «Компьютерная инженерия»  
e-mail: nikita05032003z@mail.ru, vladimir.krasnokutskiy@gmail.com

### Аннотация

*Рассмотрен подход к аппаратно-программному моделированию (HIL) систем помощи водителю с использованием имитации сигналов радаров и камер. Предложен метод ранней валидации алгоритмов без наличия физического прототипа автомобиля, что особенно актуально при ограниченных ресурсах массового автопрома. Его применение на ранних этапах разработки позволит не только сократить сроки и стоимость проекта, но и значительно повысить уровень безопасности конечного продукта.*

### Введение

Последние десятилетия характеризуются повсеместным внедрением средств автоматизации и управления, в том числе интеллектуальных транспортных систем в управлении дорожно-транспортным комплексом [1, 2]. При этом все большее значение приобретает моделирование различных аспектов поведения таких систем, что позволяет экономить время на их разработку и внедрение [3, 4].

Современные автомобили представляют собой сложные многофункциональные программно-аппаратные комплексы, в которых интегрированы десятки электронных блоков управления (ЭБУ) и сенсорных систем. Особенно это актуально для транспортных средств, оснащённых системами помощи водителю (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS). С повышением уровня автоматизации возрастает и сложность верификации таких систем: по оценкам экспертов, для подтверждения безопасности автономного автомобиля требуется преодолеть не менее 16 млн км в ходе полевых испытаний [5]. Такой подход становится экономически нецелесообразным и не укладывается в никакие временные рамки, особенно в условиях массового производства.

В этой связи ключевую роль приобретают лабораторные методы тестирования, позволяющие проводить валидацию алгоритмов ADAS на ранних этапах разработки — до появления физического прототипа автомобиля.

Целью данной работы является анализ и обобщение современных подходов к лабораторному испытанию систем ADAS с акцентом на интеграцию разнородных сенсоров в рамках архитектуры Sensor Fusion.

### Этапы разработки систем ADAS

Процесс разработки современных ADAS включает несколько этапов:

- программное моделирование (MIL/SIL) — проверка алгоритмов на уровне математических моделей и программного кода;
- параметрические испытания прототипа — тестирование отдельных компонентов;
- аппаратно-программное моделирование (hardware-in-the-loop, HIL [6]) — интеграция реальных ЭБУ с виртуальной дорожной обстановкой;
- производственные испытания — контроль качества на линии сборки;
- полевые испытания — финальная верификация в реальных условиях.

Из всех перечисленных этапов HIL-моделирование является наиболее критичным для обеспечения безопасности, поскольку именно здесь происходит взаимодействие реального оборудования с синхронизированной виртуальной средой, имитирующей дорожную обстановку, погодные условия и поведение других участников движения.

### Основные понятия и роль Sensor Fusion

Современные ADAS-системы, как правило, используют несколько типов сенсоров: радары, камеры, лидары, ультразвуковые датчики. Исторически каждая подсистема работала автономно, однако для повышения надёжности и расширения функциональности требуется их интеграция. Эта задача решается с помощью технологии Sensor Fusion — объединения данных от разнородных сенсоров для формирования единой картины окружающего пространства (рис. 1).

Типичным примером является совместное использование передней камеры и радара. Камера обеспечивает высокую точность распознавания дорожной разметки и цветowych объектов, но теряет эффективность в условиях дождя, тумана или низкой освещённости.

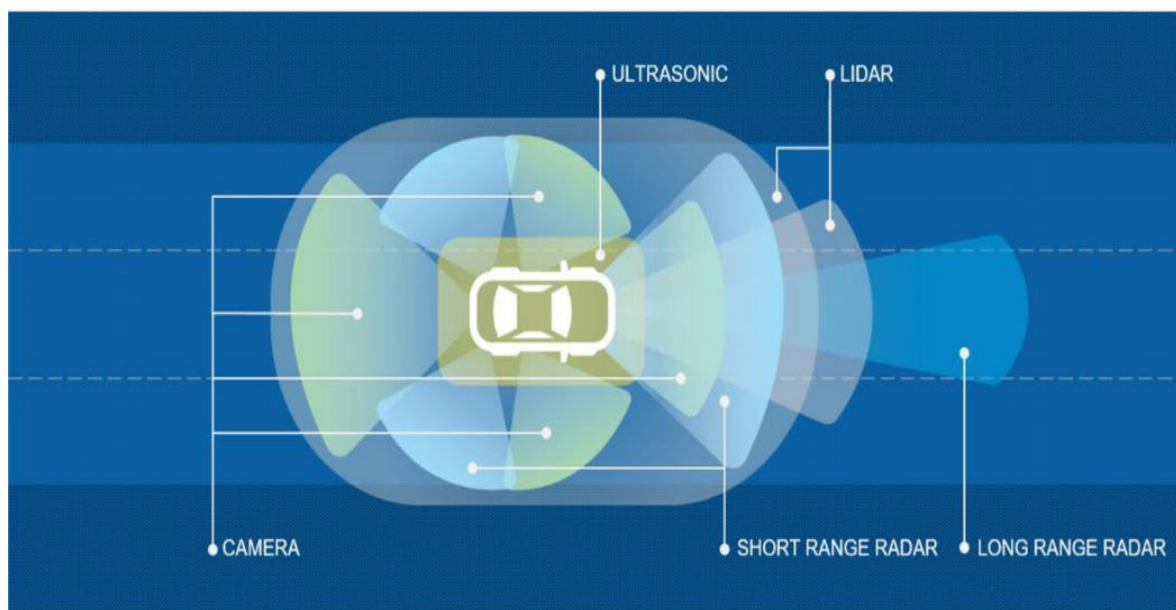


Рисунок 1 – Датчики, входящие в систему Sensor Fusion

Радар, напротив, устойчив к погодным условиям и точно измеряет расстояние и относительную скорость, однако имеет низкое пространственное разрешение.

Объединение этих данных позволяет компенсировать недостатки каждого сенсора и реализовать такие функции, как адаптивный круиз-контроль (ACC) и автоматическое аварийное торможение (AEB).

### Архитектура HIL-стенда для тестирования ADAS

Для эффективной валидации систем Sensor Fusion требуется создание комплексной тестовой среды, способной имитировать как дорожную обстановку, так и физические сигналы сенсоров. Современные решения, такие как аппаратно-программный комплекс на базе платформы National Instruments PXI, позволяют решить эту задачу в рамках единой интегрированной системы [5, 7].

Основные компоненты HIL-стенда показаны на рис. 2. Он включает:

- имитатор окружающей среды — программная среда (например, IPG CarMaker, PreScan), генерирующая виртуальные сценарии движения, включая модели транспортных средств, дорожную инфраструктуру, погодные условия и поведение участников движения;

- генератор видеопотока — симулятор, формирующий изображения для камер на основе данных виртуальной среды;

- имитатор радарных целей (NI VRTS) — аппаратный модуль, генерирующий радиочастотные сигналы, соответствующие заданным

параметрам цели (расстояние, ЭПР, угол места, скорость);

- интерфейсная система — обеспечивает синхронизацию между виртуальной средой и реальными ЭБУ по автомобильным шинам (CAN, CAN FD и др.) Данные от симулятора (расстояние до цели, её скорость, ЭПР и угол места) передаются в реальном времени через модуль NI PXI-8512 — двухпортовый интерфейс CAN/CAN-FD со скоростью до 1 Мбит/с. Это обеспечивает точную синхронизацию событий в виртуальной среде с сигналами, поступающими на ЭБУ.

### Компонентная база и технические возможности

Платформа PXI представляет собой модульную крейтовую систему на базе CompactPCI с дополнительными шинами синхронизации. Она поддерживает более 500 типов измерительных модулей, включая генераторы, осциллографы, интерфейсы и системы машинного зрения [5].

Центральным элементом имитатора радарных целей является векторный приемопередатчик NI PXIe-5840 с ПЛИС Xilinx Virtex-7, обладающий следующими характеристиками:

- диапазон частот: 9 кГц – 6,5 ГГц;
- полоса пропускания: до 1 ГГц;
- частота дискретизации: 1,25 ГГц/канал;
- разрешение АЦП/ЦАП: 16 бит.

Такая архитектура позволяет имитировать одиночные и множественные цели, варьировать расстояние, скорость, ЭПР и угол места, а также моделировать сложные сценарии, соответствующие рекомендациям Euro NCAP (рис. 3).

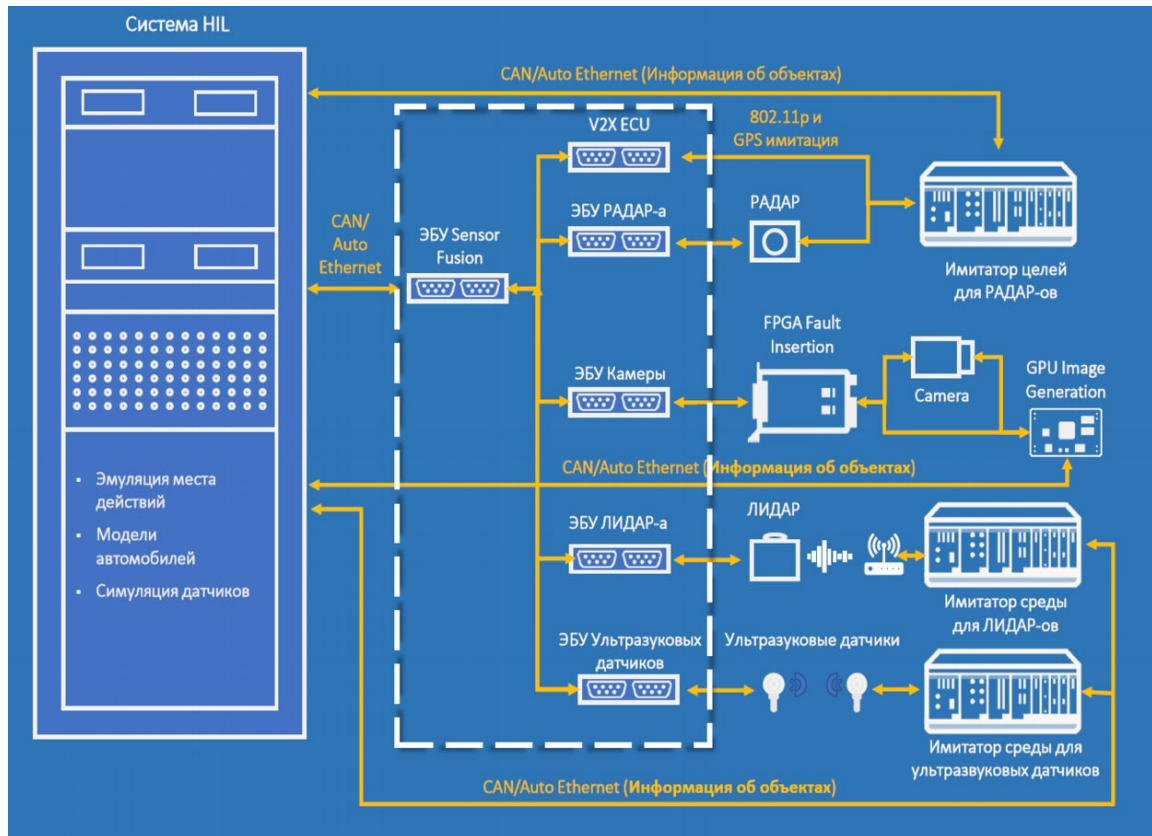


Рисунок 2 – Архитектура тестирования системы ADAS с использованием комплекса программно-аппаратного моделирования

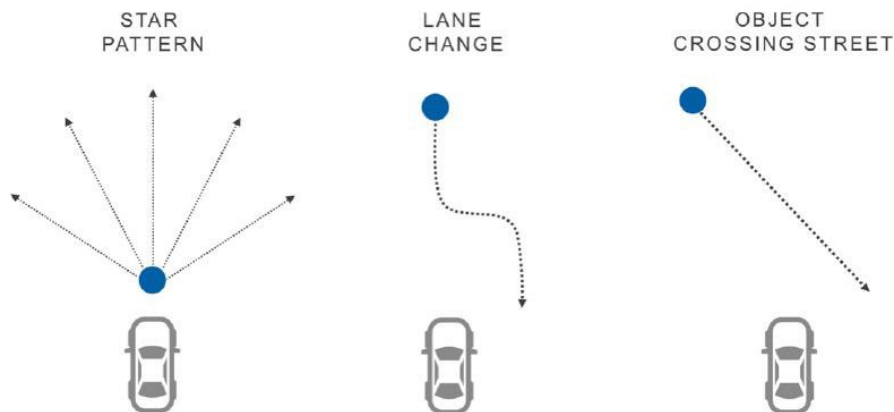


Рисунок 3 – Сценарии стандартных маневров

Благодаря модульности платформы PXI система легко масштабируется: например, конфигурация с четырьмя устройствами PXIe-5840 и четырьмя переносчиками частоты способна имитировать до восьми целей с четырьмя различными углами места одновременно.

#### Преимущества лабораторной валидации

Использование HiL-стендов на этапе проектирования [5] даёт следующие преимущества:

- раннее выявление ошибок — тестирование начинается до появления физического автомобиля, что позволяет вносить корректировки на

стадии алгоритмической разработки;

- сокращение сроков разработки — испытания можно проводить параллельно с проектированием кузова и ходовой части;

- снижение затрат — лабораторная система работает 24/7 без необходимости использования дорогих прототипов;

- повторяемость и автоматизация — регрессионные тесты выполняются за минуты вместо дней;

- покрытие краевых сценариев — моделируются редкие, но критичные ситуации (например, внезапное появление пешехода ночью в дождь).

Кроме того, открытость платформы (поддержка стандарта ASAM XIL) позволяет интегрировать сторонние симуляторы и оборудование, что делает решение гибким и масштабируемым.

## Выводы

Интеграция систем помощи водителю в автомобиле массового сегмента требует перехода от дорогостоящих полевых испытаний к комплексным лабораторным методам верификации. Современные HIL-стенды на базе платформы National Instruments обеспечивают высокую достоверность моделирования, гибкость и масштабируемость, что особенно важно при ограниченных ресурсах массового автопрома.

Применение таких решений на ранних этапах разработки позволяет не только сократить сроки и стоимость проекта, но и значительно повысить уровень безопасности конечного продукта.

## Литература

1. Андронов С.А. Интеллектуальные транспортные системы : учебное пособие / Андронов С.А., Фетисов В.А.. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2024. — 266 с. // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/132592.html>

2. Басков, В. Н. Интеллектуальные транспортные системы в управлении дорожно-транспортным комплексом : учебное пособие / В. Н. Басков, Е. И. Исаева. — Саратов : Саратовский государственный технический университет, 2021. — 192 с. // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/122622.html>

3. Николаенко, Д. В. Модели подсистемы распознавания опасной траектории движения транспортного средства / Д. В. Николаенко, О. А. Плешкова, В. Л. Николаенко // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2023 : Материалы IX Международной научно-практической конференции (заочно-дистанционная) в рамках 9-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие», Горловка, 25 мая 2023 года. — Горловка: АДИ (филиал) ДонНТУ, 2023. — С. 401-405. — EDN VPKBLH.

4. Пилипенко, В. И. Разработка и моделирование системы навигации транспорта / В. И. Пилипенко, Р. И. Пилипенко, Р. В. Мальчева // Донбасс будущего глазами молодых ученых : сборник материалов научно-технической конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых, Донецк, 19 ноября 2024 года. — Донецк: ДонНТУ, 2024. — С. 232-237. — EDN UTKLXH.

5. Мардоян, Г. Р. Современные подходы к испытанию систем ADAS на всех этапах разработки / Г. Р. Мардоян, Р. И. Симонян, Н. А. Карпов, Н. А. Пронин, С. Ю. Метелев // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2018. — № 4(123). — С. 233–242.

6. ADAS HIL With Sensor Fusion [Electronic resource] // National Instruments. — URL: <http://www.ni.com/white-paper/53961/en/>

7. Using The SLSC Architecture To Add Additional Elements To The Signal Path Of A Test System [Electronic resource] // National Instruments. — URL: <http://www.ni.com/white-paper/53702/en/>

*Хоминский Н.Д., Краснокутский В.А. Лабораторное тестирование систем ADAS на этапе проектирования для автомобилей массового сегмента. Рассмотрен подход к аппаратно-программному моделированию (HIL) систем помощи водителю с использованием имитации сигналов радаров и камер. Предложен метод ранней валидации алгоритмов без наличия физического прототипа автомобиля, что особенно актуально при ограниченных ресурсах массового автопрома. Его применение на ранних этапах разработки позволит не только сократить сроки и стоимость проекта, но и значительно повысить уровень безопасности конечного продукта.*

**Ключевые слова:** ADAS, HIL-моделирование, Sensor Fusion, радар, камера, лабораторная валидация.

*Hominsky N.D., Krasnokutsky V.A. Laboratory Testing of ADAS Systems at the Design Stage for Mass-Market Vehicles. The paper presents an approach to hardware-in-the-loop (HIL) simulation of advanced driver assistance systems using simulated radar and camera signals. A methodology for early validation of sensor fusion algorithms is proposed, eliminating the need for a physical vehicle prototype—particularly relevant under the resource constraints typical of mass-market automotive production. Its application at the early stages of development will not only reduce the time and cost of the project, but also significantly increase the safety level of the final product.*

**Keywords:** ADAS, HIL simulation, Sensor Fusion, radar, camera, laboratory validation.

Статья поступила в редакцию 28.10.2025  
Рекомендована к публикации профессором Мальчевой Р. В.