УДК 629.1.01 ***DOI: 10.46960/2782-5477_2022_3_4***

Д.А. Колесниченко, П.С. Рогов, Н.А. Ивашкин, А.В. Тумасов

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АРХИТЕКТУРЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Современные автомобили модернизируются в основном за счет оснащения электронными системами и ассистентами вождения. В силу этого актуальной задачей является повышение стабильности работы электронных компонентов и, соответственно, повышение безопасности эксплуатации транспортного средства, в том числе, согласно ГОСТ Р ИСО 26262. Одним из способов ее решения является разработка инструментов и способов верификации электронной архитектуры автомобилей. Представлены результаты анализа проектирования современных автомобилей. Разработаны методики испытаний электронной архитектуры на стенде и на автомобиле. Разработан специализированный стенд для исследования архитектуры электронных систем автомобиля. Проведены исследования нештатных режимов работы автомобиля с использованием стендового оборудования, а также натурные испытания для подтверждения работоспособности в реальных условиях.

Ключевые слова: электронная архитектура, программа и методика испытаний, автомобиль, испытательный стенд, валидация, натурные испытания, ИСО 26262.

Введение

Развитие современных электронных систем стремительно меняет нашу жизнь, например, электронные гаджеты стали предметами постоянного обихода. Изменился и современный автомобиль: если раньше, в первую очередь с точки зрения обеспечения безопасности дорожного движения, главенствовал человек, то сейчас эта функция в основном выполняется электроникой, в том числе – системами активной помощи водителю. Они становятся все более массовыми и устанавливаются сейчас даже на автомобилях бюджетного класса [1].

Различные системы с электронным управлением в автомобилях были и ранее, например, рулевое управление с электрическим усилителем руля и тормозная система с блоком АБС. Но сейчас их количество заметно увеличилось, и усложнилась их коммуникация [2]. Для обеспечения корректного и надежного взаимодействия электронных систем требуется оптимальная топология и структура информационной сети обмена данными, а также согласование электронных сигналов шин данных [3]. Все эти связующие звенья образуют архитектуру электронных систем современного автомобиля. От нее зависит самое главное – безопасность эксплуатации автомобиля и дорожного движения в целом. Необходимо понимать, как архитектура отработает те или иные воздействия. Даже в самом современном и технологичном автомобиле могут происходить сбои в работе. Известен случай, когда попавшая в ДТП Tesla Model S загорелась и заблокировала двери, закрыв при этом водителя [4]. Электронная архитектура (ЭА) автомобиля требует наладки и испытаний ее работы. Данному направлению посвящены многие работы [5]. Однако, не все исследования возможно произвести на штатном автомобиле. Так, например, обрывы и восстановления силовых или сигнальных электрических линий или короткие замыкания, а также замыкания проводов требуют отдельного оборудования и настройки коммуникации элементов ЭА. Следовательно, для разработки нового автомобиля необходимо создание и использование специализированного

стенда для валидации электронной архитектуры. Практика разработки подобного испытательного стенда использовалась при создании отечественного электромобиля КАМА-1 [6].

Для комплексного исследования электронной архитектуры автомобиля необходимо также проводить испытания ЭА в составе действующего автомобиля для того, чтобы учесть необходимые дорожные ситуации.

Основная часть

Данная работа выполнена совместной командой специалистов НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ФГУП «НАМИ» и ООО «ОИЦ» Группы ГАЗ.

Объектом исследования является архитектура электронных систем перспективного легкого коммерческого автомобиля Группы ГАЗ (ЛКА ГАЗ). Это первый легкий коммерческий автомобиль ГАЗ, построенный на новой цифровой платформе, позволяющей внедрять множество новых систем, в том числе, системы активной помощи водителю: удержание в полосе движения, индикация слепых зон на дороге, парковочный ассистент и др.

Для достоверных проверок и испытаний ЭА автомобиля был создан специализированный стенд. На этапе формирования его концепции было принято условие, что каркас стенда должен соответствовать размерам транспортного средства, электронную архитектуру которого необходимо испытывать. Электронные блоки должны располагаться на стенде максимально приближенно к своему реальному расположению на автомобиле, при этом должны совпадать длины электрических проводов. Это необходимо для того, чтобы можно было учитывать все возможные электрические потери; помимо этого, такое размещение, приближенное к реальному, требуется для соблюдения топологии CAN-шин.

Для расположения компонентов на каркасе стенда используются специальные полки, спроектированные по реальным местам этих устройств. Имитирующие двери оснащены концевыми выключателями действующего автомобиля и имеют возможность открытия и закрытия. На каркасе стенда предусмотрены технические решения для оперативной транспортировки. Собранный каркас стенда представлен на рис. 1.

Рис. 1. Собранный каркас стенда

Для проведения валидации и испытаний электронной архитектуры стенд должен обладать рядом функций, которые реализуются специализированными системами. Одной из них является источник питания, который должен обеспечивать работу всего стенда, в том числе, всего слаботочного оборудования автомобиля. При этом источник должен обладать широким диапазоном рабочего напряжения для того, чтобы можно было имитировать условия просадки и повышения напряжения. В первую очередь, все испытания при разработке

автомобиля проводятся для того, чтобы обеспечить его максимальную безопасность и надежность в эксплуатации. Для этого необходимо рассматривать возможные отказы систем и последствия, связанные с этими процессами. Поэтому при испытаниях ЭА нужно учитывать отказы компонентов и блоков. Кроме того, необходимо рассматривать реакцию электронной архитектуры при восстановлении работы отказавших систем. Должны быть разработаны специализированные «Breakout» боксы, которые необходимы для отключения и подключения отдельных проводов в системе автомобиля, имитируя при этом отказ питания. Далее, стенд для валидации электронной архитектуры должен обладать устройством для имитации датчиков автомобиля, что требуется для обеспечения условий работы реального транспортного средства и помогает в будущем дополнять архитектуру новыми системами. На рис. 2-5 представлены фото основных блоков стенда.

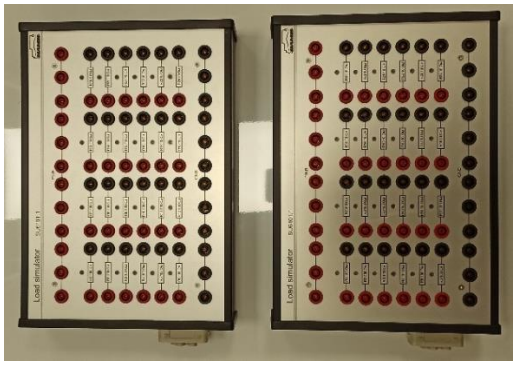


Рис. 2. Имитаторы нагрузок

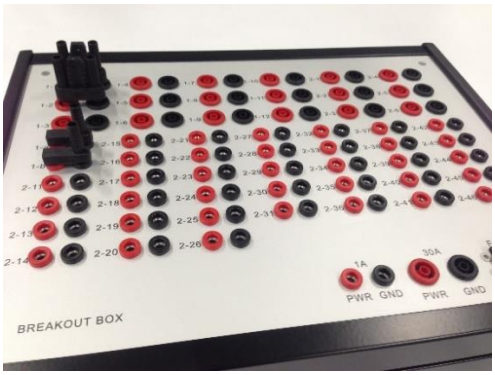


Рис. 3. Имитатор ошибок

Рис. 4. Блок БИО

Рис. 5. Имитаторы датчиков

Совместными усилиями специалистов были составлены методики испытаний ЭА ГАЗели NN. В них описаны требования к условиям и средствам испытаний, а также требования к подготовке объекта испытаний. Программа испытаний насчитывает порядка двухсот пунктов проверок с учетом проверок штатных режимов работы архитектуры автомобиля, исследования с использованием стендового оборудования, а также с учетом подключения внешнего персонального компьютера с предустановленным специализированным ПО с возможностью формирования внешних CAN и LIN сигналов для имитации работы отдельных компонентов. При этом дополнительно появляется возможность для записи логов и проведения диагностики работы системы по всем шинам обмена данных автомобиля. В методиках испытаний сформулирована последовательность проверок для получения наиболее корректных выводов.

Первым этапом проведения валидации электронной архитектуры на стенде, согласно п. 7.4.2.2.2 ГОСТ Р ИСО 26262-4, является тестирование на основе требований. Для этого

необходимо получить сведения об алгоритмах работы функций от поставщиков оборудования. Только так возможно установить ожидаемые результаты и методы включения или выключения тех или иных функций автомобиля, а также описание аварийных режимов. По итогам были составлены листы архитектуры с описанием работы функций во всех переходных стадиях:

- инициализация;
- зажигание включено;
- запуск двигателя;
- двигатель запущен.

В рамках этого пункта требований были испытаны 16 систем, в том числе, важнейшие элементы ЭА автомобиля: блоки кузовной электроники, отвечающие за работу этой архитектуры, комбинация приборов, отвечающая за связь и передачу информации о работе архитектуры с водителем, современные системы активной помощи водителю. В рамках этих требований также были проведены испытания на соответствие требованиям по пылевлагозащищенности и электромагнитной совместимости. Оборудование стенда позволяет подключить генератор импульсов к каждому необходимому контакту компонента, не оказывая влияние на остальную систему, при этом возможна проверка корректности работы всей архитектуры.

Следующим этапом проведения валидации ЭА на стенде, согласно п. 7.4.2.2.2 ГОСТ Р ИСО 26262-4, является тестирование с внесением дефектов. Как правило, в документации от поставщиков указываются лишь пороговые значения и токовременные характеристики компонентов, но, с учетом сложности современной ЭА автомобиля, этого недостаточно для обеспечения безопасной эксплуатации транспортного средства. Поэтому важнейшей частью верификации были испытания ЭА с использованием внештатных внешних воздействий (обрывы сигнальных и силовых проводов, замыкания на линии питания, замыкания проводов друг между другом). В связи с этим, еще раз отметим большую роль использования стенда, поскольку проводить такие исследования в рамках испытаний автомобиля практически недопустимо ввиду возможности возгораний и других опасных ситуаций. Также исследования на стенде значительно упрощают работу испытателей благодаря удобному и наглядному расположению всех компонентов ЭА автомобиля. В рамках этого пункта требований были испытаны основные системы архитектуры автомобиля, указанные в рамках комплексного проекта: блоки кузовной электроники, комбинация приборов, система заднего обзора. Всего было проведено порядка 40 проверок с внесением дефектов в работу систем и компонентов, которые позволили выявить важные несоответствия работы систем еще до выхода автомобиля на дорогу. Фрагменты проведения стендовых испытаний представлены на рис. 6-8.

Каждый этап испытаний был описан в специально разработанных чек-листах (рис. 3), в которые были внесены также ожидаемые результаты проверки и указаны фактические результаты, полученные при проведении валидации. Фрагменты чек-листов представлены на рис. 9. Далее были проведен анализ и обработаны результаты исследования, на основе которых были сформированы предложения по модернизации работы функций автомобиля. Дополнительно это позволяет постоянно расширять функционал стенда.

По окончании испытаний были проведены корректировки алгоритмов и структуры электронной архитектуры. После корректировки алгоритмов работы были проведены повторные испытания электронной архитектуры ЛКА ГАЗ на стенде. Сделаны выводы и замечания для расширения функционала работы систем автомобиля. По итогам стендовых испытаний были проведены натурные испытания работы электронной архитектуры автомобиля на прототипе ПТЗ с целью обеспечения полного комплекса валидации с учетом дорожных ситуаций. Были испытаны основные системы архитектуры согласно проекту: система автоматизации управления элементами кузовной электроники, централизованная система обеспечения взаимодействия водителя с электронными системами автомобиля, система заднего обзора, система автоматического управления стеклоочистителями и ближним светом фар.

Рис. 6. Фрагмент испытания комбинации приборов

Рис. 7. Фрагмент испытаний с использованием специализированного ПО

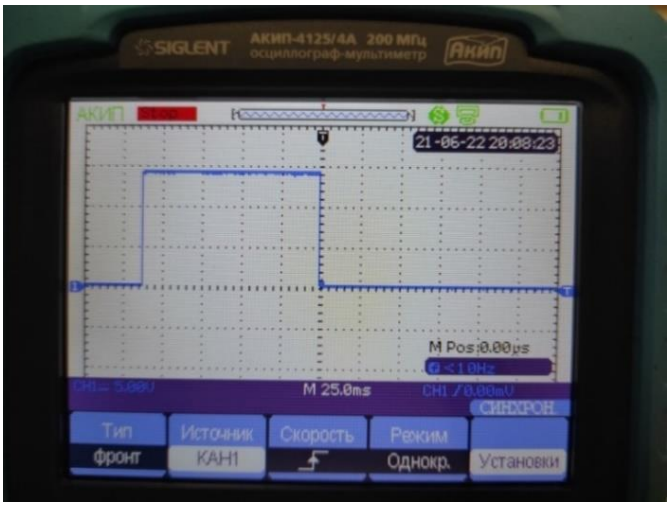
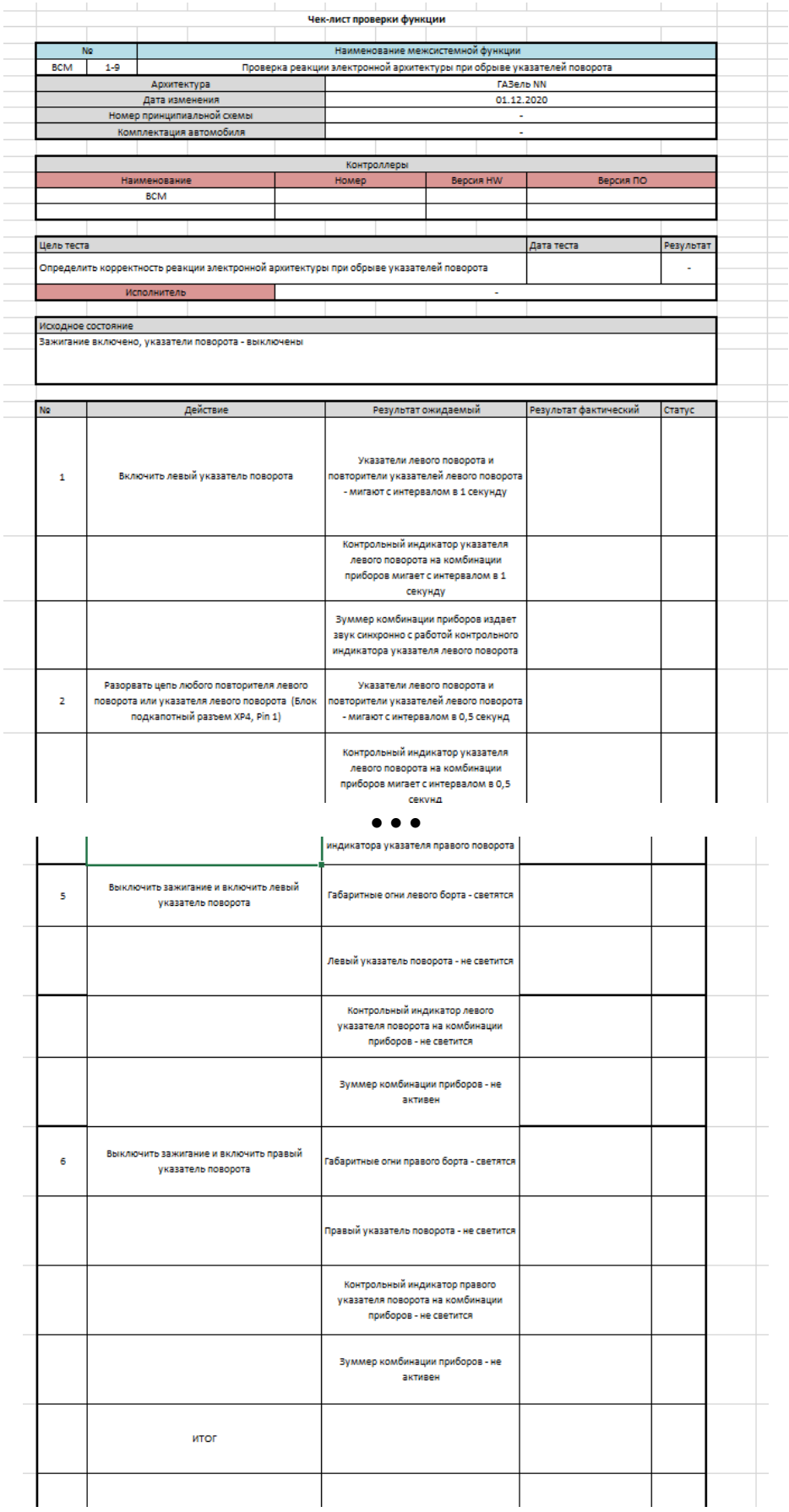


Рис. 8. Фрагмент испытаний с использованием осциллографа



Чек-лист проверки функции

№		Наименование межсистемной функции
BCM	1-9	Проверка реакции электронной архитектуры при обрыве указателей поворота

Архитектура	ГАЗель NN
Дата изменения	01.12.2020
Номер принципиальной схемы	-
Комплектация автомобиля	-

Контроллеры			
Наименование	Номер	Версия HW	Версия ПО
BCM			

Цель теста	Дата теста	Результат
Определить корректность реакции электронной архитектуры при обрыве указателей поворота		-
Исполнитель	-	

Исходное состояние
Зажигание включено, указатели поворота - выключены

№	Действие	Результат ожидаемый	Результат фактический	Статус
1	Включить левый указатель поворота	Указатели левого поворота и повторители указателей левого поворота - мигают с интервалом в 1 секунду		
		Контрольный индикатор указателя левого поворота на комбинации приборов мигает с интервалом в 1 секунду		
		Зуммер комбинации приборов издает звук синхронно с работой контрольного индикатора указателя левого поворота		
2	Разорвать цепь любого повторителя левого поворота или указателя левого поворота (Блок подкапотный разъем XP4, Pin 1)	Указатели левого поворота и повторители указателей левого поворота - мигают с интервалом в 0,5 секунд		
		Контрольный индикатор указателя левого поворота на комбинации приборов мигает с интервалом в 0,5 секунд		
		индикатора указателя правого поворота		
5	Выключить зажигание и включить левый указатель поворота	Габаритные огни левого борта - светятся		
		Левый указатель поворота - не светится		
		Контрольный индикатор левого указателя поворота на комбинации приборов - не светится		
		Зуммер комбинации приборов - не активен		
6	Выключить зажигание и включить правый указатель поворота	Габаритные огни правого борта - светятся		
		Правый указатель поворота - не светится		
		Контрольный индикатор правого указателя поворота на комбинации приборов - не светится		
		Зуммер комбинации приборов - не активен		
	ИТОГ			

Рис. 9. Фрагменты чек-листов

В рамках натурных испытаний на автомобиле возможно тестирование на основе требований, согласно п. 7.4.2.2.2 ГОСТ Р ИСО 26262-4. Подобно стендовым испытаниям, каждый этап испытаний был описан в разработанных чек-листах. Фрагменты проведения натурных испытаний представлены на рис. 10-11.

Рис. 10. Фрагмент системы заднего обзора

Рис. 11. Фрагмент испытаний светотехники

Результаты проведенного исследования были внедрены в практику ООО «Объединенный инженерный центр» Группы ГАЗ и их можно увидеть на примерах в линейке перспективных легких коммерческих автомобилей компании.

Результаты

1. Проведен анализ тенденций проектирования и разработки в современном автомобилестроении.
2. Изучены алгоритмы работы систем автомобиля, в том числе, систем активной помощи водителю.
3. Совместно с ФГУП «НАМИ» разработан стенд для испытания электронной архитектуры легкого коммерческого автомобиля.
4. Согласно требованиям ГОСТ Р ИСО 26262, разработана методика испытаний ЭА на стенде и в составе автомобиля, которая включает в себя исследование электронных систем автомобиля, а также непосредственные исследования тех параметров, которые не указываются в документации на компоненты ЭА.
5. Проведены исследования нештатных режимов работы автомобиля с использованием стендового оборудования.
6. Совместно со специалистами ФГУП «НАМИ» и ООО «ОИЦ» ГАЗ проведены испытания ЭА на стенде. Выполнены анализ и обработка получившихся результатов.
7. Совместно со специалистами ООО «ОИЦ» ГАЗ проведены испытания ЭА в составе автомобиля. Выполнены анализ и обработка получившихся результатов.
8. По результатам исследований проведены корректировки алгоритмов работы блока кузовной электроники и блока управления периферийных систем. Проведены повторные проверки изменений с целью повышения надежности работы архитектуры и повышения безопасности эксплуатации транспортного средства.

Заключение

Современные автомобили стали настоящими гаджетами, в которых человек уже не играет главной роли. Именно поэтому самым важным становится повышение стабильности работы электронных компонентов и, тем самым, повышение безопасности эксплуатации транспортного средства. Все это обусловливает актуальность представленных в данной работе исследований.

Разработанные методики испытаний и чек-листы являются справедливыми в отношении валидации электронной архитектуры ЛКА ГАЗ. Проведенные анализ и обработка результатов позволили выявить уязвимости в работе систем ЭА и повысить стабильность их функционирования.

По результатам проделанной работы можно сказать, что разработанный специализированный стенд является рабочим инструментом для инженеров и испытателей, а также для научных исследований аспирантов и ученых.

Комплексное испытания электронной архитектуры автомобиля и использованием специализированного стенда, а также дорожных испытаний в составе автомобиля позволяют обеспечить безопасность и надежность работы сложных систем транспортного средства.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках проекта «Создание высокотехнологичного производства модельного ряда автомобилей ГАЗель Next с новой электронной архитектурой электронных систем» по Соглашению № 075-11-2019-027 от 29.11.2019 (постановление Правительства Российской Федерации от 09 апреля 2010 года № 218).

Библиографический список

1. Второй пилот по имени Drive Wise [Электронный ресурс] // Режим доступа KIA URL: https://www.kia.ru/press/magazine/j3/// (дата обращения: 01.05.2021).
2. Электронные системы, помогающие водителю [Электронный ресурс] // Режим доступа carobka URL: https://carobka.ru/publications/articles/10904/ (дата обращения: 05.06.2021).
3. Электронные системы управления автомобилем [Электронный ресурс] // Режим доступа extxe URL: https://extxe.com/17273/jelektronnye-sistemy-upravlenija-avtomobilem/ (дата обращения: 22.05.2021).
4. Загоревшаяся после ДТП Tesla Model S погубила водителя, заперев все двери [Электронный ресурс] // Режим доступа news.drom URL: https://news.drom.ru/Tesla-Model-S-67468.html (дата обращения: 21.04.2021).
5. Набоких, В.А. Испытания автомобильной электроники [Текст] / В.А. Набоких – М.: Инфра-М, 2017. – 296 с.
6. Битва за электромобильность: разработка электронной архитектуры электромобиля Кама-1 [Электронный ресурс] // Режим доступа Habr URL: https://habr.com/ru/post/544670/ (дата обращения: 06.06.2021).