

УДК 629.113

А.М. Грошев¹, В.В. Михайлов², В.А. Никольский³, А.В. Тумасов¹**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОРМОЗНЫХ СВОЙСТВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
ООО Торгово-производственное предприятие «ПЕЛЕНГ»²,
НП Институт сертификации автотехники³

Описаны принципиальные схемы программно-аппаратных комплексов, позволяющих оценивать тормозные свойства транспортных средств с пневматической и гидравлической тормозными системами в лабораторных условиях по результатам имитационного моделирования.

Ключевые слова: имитационное моделирование, программно-аппаратный комплекс, тормозные свойства, транспортное средство.

Исследование свойств активной безопасности, в том числе тормозных свойств, является важной задачей на этапах проектирования, доводки и сертификации транспортных средств (ТС). Все большее значение при выполнении работ, направленных на повышение активной безопасности ТС, приобретает имитационное моделирование, представляющее процесс конструирования на ЭВМ модели сложной реальной системы, функционирующей во времени, и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы [1]. Имитационные модели транспортных средств и систем могут быть использованы для оценки их эксплуатационных свойств, определения возможных способов совершенствования их конструкций, оценки влияния определенных конструктивных изменений на управляемость, устойчивость и тормозные свойства.

В последнее время наиболее перспективным является проведение имитационного моделирования движения ТС с использованием программно-аппаратных комплексов (ПАК), включающих в себя реальные компоненты автомобиля, специальный измерительный комплекс, современное программное обеспечение. Такой подход позволяет моделировать поведение транспортных средств с учетом особенностей работы реальных агрегатов и блоков управления [2].

Следует отметить, что применение ПАК имеет важное практическое значение, например, Правилами ЕЭК ООН №13-11 [3], принятыми 10 сентября 2009 г. постановлением Правительства Российской Федерации №720 в составе Технического регламента о безопасности колесных транспортных средств, допускается оценка движения ТС, оснащенного системой электронного контроля устойчивости (ЭКУ), как по результатам натурных испытаний, так и по результатам имитационного моделирования [4]. В связи с этим, оценка эффективности системы ЭКУ с помощью ПАК имеет хорошие перспективы, поскольку полученные результаты могут быть реализованы на практике не только в виде конкретных конструкторских решений, но также использованы при сертификации ТС.

На рис. 1 показана схема ПАК, используемого специалистами компании «Кнорр-Бремзе» при проведении исследовательских работ и позволяющего оценивать эксплуатационные свойства большегрузных транспортных средств.

На стенде могут быть размещены реальные агрегаты пневматической тормозной системы автобуса или тягача и прицепа / полуприцепа. Все агрегаты соединяются между собой соответствующими трубопроводами. Тормозная система питается сжатым воздухом и по-

средством органов управления (главного многосекционного тормозного крана и крана стояночной тормозной системы) приводится в действие.



Рис. 1. ПАК для имитации движения большегрузных ТС

а – стенд с реальными агрегатами тормозной системы; *б* – виртуальная модель ТС

На рис. 2 показана принципиальная схема аналогичного стенда, разработанная специалистами НГТУ им. Р.Е. Алексеева, на котором установлена тормозная система грузового автомобиля с антиблокировочной системой (АБС) и противобуксовочной системой (ПБС). На компьютере (поз. 1) установлено специальное программное обеспечение, которое позволяет создавать модель ТС, учитывающую основные конструктивные особенности: геометрические и инерционные характеристики узлов и агрегатов, характер распределения массы по осям, высоту центра тяжести ТС, параметры двигателя, трансмиссии, подвески, колес, шин и др. При имитационном моделировании может рассматриваться как нагруженное, так и порожнее состояние транспортного средства, при этом в нагруженном состоянии учитываются масса перевозимого груза, характер распределения массы и высота его центра тяжести.

Программное обеспечение позволяет симитировать дорожные условия (микро- и макропрофиль дороги, коэффициент сцепления шин ТС с полотном пути, направление и скорость ветра), а также действия водителя (управляющее воздействие на органах управления). Таким образом, учитываются основные факторы, воздействующие на траекторию движения ТС, способные привести к потере устойчивости или возможному опрокидыванию.

В процессе моделирования движения модель ТС начинает разгоняться и двигаться по определенной траектории. В том случае, если имитируется процесс торможения, то сигнал о начале торможения через преобразователь сигналов (поз. 2) передается на исполнительные цилиндры (поз. 15 и 17), способные привести в действие главный тормозной кран (служебное торможение) и кран стояночного тормоза (аварийное торможение). В то же время сигнал с компьютера передается на электронный блок управления тормозной системой (поз. 14), который получает информацию об угловой скорости вращения «виртуальных» колес модели ТС. Электронный блок анализирует данные о движения автомобиля и управляет режимами работы модуляторов системы АБС (поз. 10), контролируя тем самым давление в тормозных механизмах передней и задней оси.

Штоки тормозных камер (поз. 11 и 19) упираются в специальные упругие элементы, называемые имитаторами тормозных механизмов (поз. 12). При этом характеристики упругих элементов подбираются таким образом, чтобы характеристика имитатора (зависимость усилия сжатия от деформаций) наиболее полным образом соответствовала характеристике реального тормозного механизма. В качестве таких имитаторов могут использоваться резиновые цилиндрические буферы либо стальные пружины.

При срабатывании тормозной системы, в результате нарастающего давления, штоки тормозных камер совершают поступательное движение, которое фиксируется датчиками абсолютных перемещений (поз. 13). Сигнал с датчиков передается в компьютер, где с помощью специальных алгоритмов определяется величина тормозного момента, создаваемого на том или ином колесе модели ТС. После этого на мониторе компьютера отображается пове-

дение ТС с учетом работы агрегатов тормозной системы. Затем процесс передачи данных, характеризующий относительно высокой скоростью передачи сигналов, повторяется.

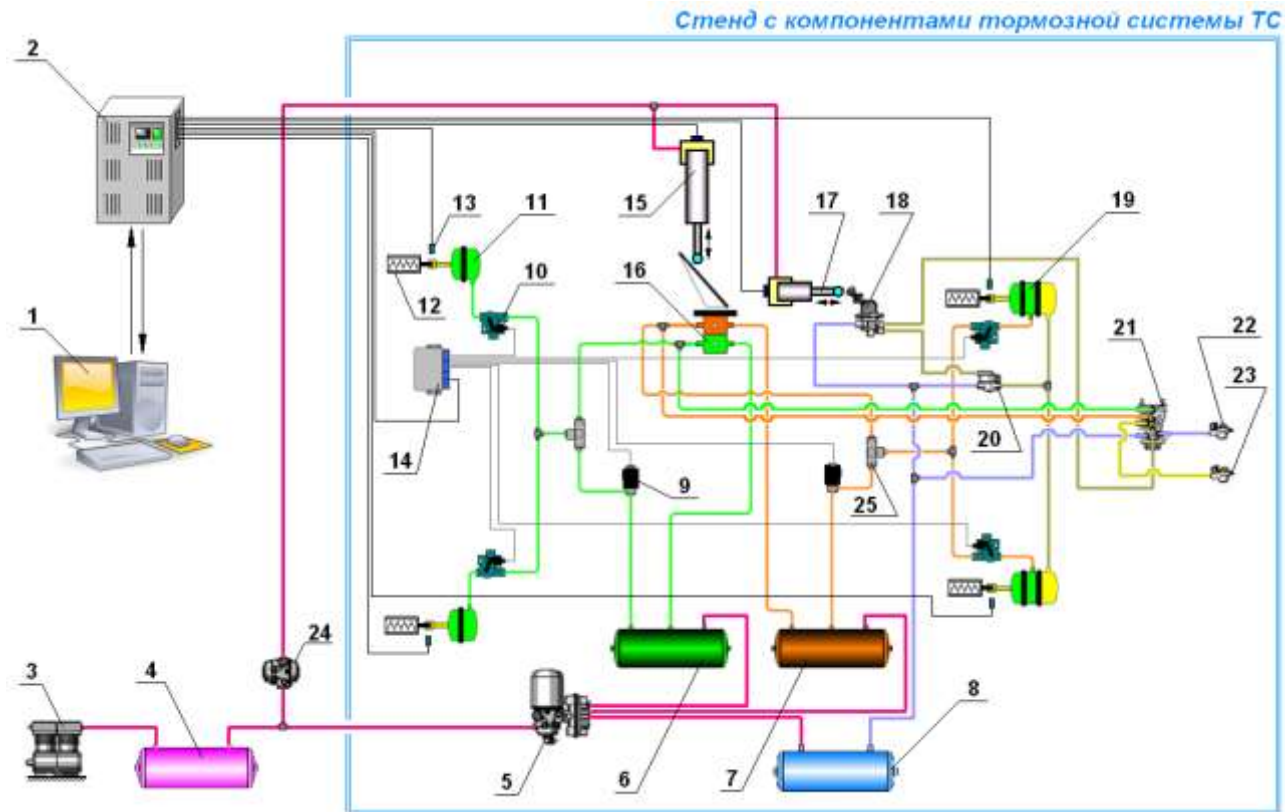


Рис. 2. Принципиальная схема ПАК

1 – компьютер с ПО и виртуальной моделью ТС; 2 – преобразователь сигналов (LABCAR); 3 – компрессор; 4 – ресивер; 5 – модуль подготовки воздуха (осушитель, регулятор давления, многоконтурный защитный клапан); 6 – ресивер переднего контура тормозной системы; 7 – ресивер заднего контура тормозной системы; 8 – ресивер стояночной тормозной системы; 9 – клапан регулирования давления противобуксочной системы; 10 – модулятор (клапан контроля давления); 11 – тормозная камера; 12 – имитатор тормозного механизма (пружина либо резиновый буфер); 13 – датчик перемещения штока тормозной камеры; 14 – электронный блок управления; 15 – исполнительный пневмоцилиндр, воздействующий на главный тормозной кран; 16 – главный тормозной кран; 17 – исполнительный пневмоцилиндр, воздействующий на кран стояночной тормозной системы; 18 – кран стояночной тормозной системы; 19 – тормозная камера с энергоаккумулятором; 20 – ускорительный клапан; 21 – клапан управления тормозами прицепа; 22 – питающая соединительная головка; 23 – управляющая соединительная головка; 24 – регулятор давления исполнительных пневмоцилиндров; 25 – двухмагистральный защитный клапан

Программно-аппаратные комплексы, предназначенные для оценки тормозных свойств транспортных средств с гидравлическими тормозными системами, несколько отличаются от ПАК, показанных на рис. 1 и 2.

Например, имитационный стенд-тренажер, разработанный специалистами ВолгГТУ [5, 6] и предназначенный для проведения виртуальных испытаний тормозных систем легковых автомобилей, включает в себя три соединенных между собой персональных компьютера, реальные компоненты тормозной системы легкового автомобиля, устройство для имитации воздействий на рулевое колесо, устройство сопряжения объектов, энергетическую и измерительную системы. Для исследования характера движения в режиме торможения на имитационном стенде-тренажере перед водителем установлен монитор, при этом на персональном компьютере реализуется построение и отображение дорожной обстановки и динамики изменения дорожной ситуации.

На рис. 3 показана функциональная схема аналогичного ПАК, разработанного специалистами НГТУ им Р.Е. Алексеева и ООО ТПП «ПЕЛЕНГ», предназначенного для оценки эффективности гидравлических тормозных систем ТС, оснащенных системами ЭКУ.

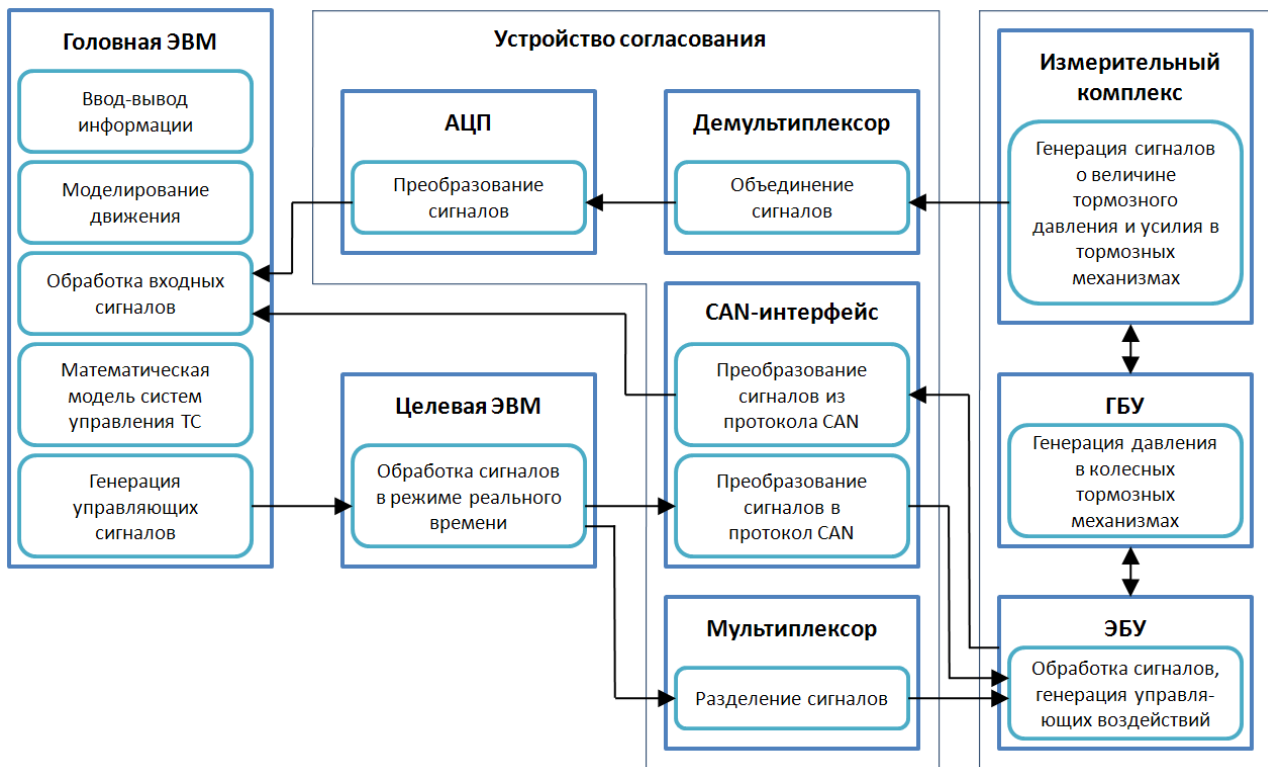


Рис. 3. Функциональная схема ПАК для испытаний тормозных гидравлических систем с ЭКУ

ПАК состоит из вычислительной и физической частей. Вычислительная часть представляет собой две электронные вычислительные машины: головную и целевую. Головная ЭВМ реализует пространственную математическую модель криволинейного движения ТС с использованием среды прикладного графического программирования. Специальное программное обеспечение позволяет моделировать конструктивные параметры ТС, дорожные условия и управляющие воздействия водителя, которые могут быть либо заданы заранее, либо осуществляться оператором ПАК в режиме реального времени путем воздействия на виртуальные органы управления автомобилем для обеспечения требуемых скорости и траектории движения ТС.

Целевая ЭВМ осуществляет обработку в режиме реального времени управляющих сигналов от головной ЭВМ. Целевая ЭВМ передает на физическую часть ПАК (прежде всего на электронный блок управления (ЭБУ) системы ЭКУ) те сигналы, которые физически не могут быть получены на стенде: угловые скорости вращения колес, угол поворота рулевого колеса, продольное и поперечное ускорение ТС, угловое ускорение вращения ТС относительно вертикальной оси (скорость рыскания), а также сигналы от других ЭБУ: двигателя, коробки передач и др. Часть этих сигналов должна быть преобразована в аналоговый вид с помощью мультиплексора, а часть – в протокол CAN посредством соответствующего интерфейса.

Физическая часть представляет собой стенд с установленными на нем реальными компонентами тормозной системы автомобиля: главным тормозным цилиндром (ГТЦ) в сборе с питательным бачком, педалью тормоза и вакуумным усилителем тормозов (ВУТ), интегрированным ЭБУ и гидравлическим блоком управления (ГБУ), рабочими тормозными цилиндрами (РТЦ) с имитаторами колесных тормозных механизмов (ТМ) и трубопроводами соответствующей длины. При этом, как и в случае с ПАК для испытаний тормозных систем с

пневматическим приводом, характеристики упругих элементов имитаторов подбираются таким образом, чтобы наиболее полно соответствовать характеристике реального тормозного механизма.

Кроме того, на стенде установлены вакуумный насос для обеспечения корректной работы ВУТ и измерительный комплекс для регистрации актуальных состояний и реакций системы. Принципиальная схема ПАК представлена на рис. 4.



Рис. 4. Принципиальная схема ПАК для испытаний тормозных гидравлических систем с ЭКУ

ЭБУ системы ЭКУ получает сигналы от целевой ЭВМ и генерирует управляющие воздействия на компоненты ТС: модуляторы давления, питающие и отсечные клапаны, возвратный и питающий насосы. Соответствующие изменения в состоянии ТС регистрируются измерительным комплексом, который обеспечивает регистрацию следующих параметров:

- давление в обоих контурах ГТЦ;
- давление в четырех контурах колесных ТМ;
- перемещение исполнительных устройств в колесных ТМ.

С помощью АЦП сигналы датчиков давления и перемещения преобразуются в цифровой вид и передаются в головную ЭВМ для обработки и пересчета в значения тормозных усилий. Также с помощью интерфейса CAN регистрируются и преобразуются исходящие из ЭБУ системы ЭКУ цифровые сигналы, предназначенные для других ЭБУ ТС.

Таким образом, осуществляется непрерывный процесс контроля и взаимодействия между виртуальной и физической составляющими модели.

Необходимо отметить важное отличие при работе системы в режиме торможения и в режиме контроля курсовой устойчивости и управляемости. В режиме торможения давление в системе создается с помощью педали тормоза, а в режиме контроля курсовой устойчивости и управляемости – питающим и возвратным насосами.

Рассмотренные ПАК позволяют в режиме реального времени оценить характер поведения ТС с учетом особенностей работы реальных агрегатов тормозной системы (пневматической или гидравлической).

Следует подчеркнуть, что имитационное моделирование имеет целый ряд преимуществ по сравнению с дорожными испытаниями:

- независимость от погодных условий;
- гибкие возможности по изменению модели и оценки влияния различных конструктивных параметров на динамику движения ТС;

- возможность имитирования практически любых дорожных ситуаций (различных маневров и дорожных условий);
- возможность моделирования отказа отдельных компонентов;
- возможность получения полного массива данных о процессе движения ТС.

Библиографический список

1. **Шеннон, Р.** Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 415с.
2. **Тумасов, А.В.** Применение электронных систем курсовой устойчивости на коммерческом транспорте российского производства / А.В. Тумасов, А.М. Грошев, Л. Палкович // Журнал ассоциации автомобильных инженеров. 2010. №1 (60). С. 34-37.
3. **Правила ЕЭК ООН №13-10** «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения».
4. **Технический регламент о безопасности колесных транспортных средств.** Постановление Правительства Российской Федерации № 720 от 10.09.2009 г.
5. **Дыгало, В.Г.** Виртуально-физическая технология моделирования в цикле проектирования автоматизированных тормозных систем / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин // Известия ВолгГТУ: межвузовский сборник научных статей. Волгоград. 2007. №8 (34). С. 23–27.
6. **Дыгало, В.Г.** Виртуально-физическая технология лабораторных испытаний систем активной безопасности автотранспортных средств: монография / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин; ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – 316 с.

*Дата поступления
в редакцию 25.04.2011*

A.M. Groshev, V.V. Mikhailov, V.A. Nikolsky, A.V. Tumasov

APPLICATION OF HARDWARE-SOFTWARE COMPLEXES FOR VEHICLE BRAKING CHARACTERISTICS ESTIMATION ON BASIS OF SIMULATION RESULTS

The article describes principal schemes of hardware-software complexes that could be used for estimation of braking characteristics of vehicles with hydraulic and pneumatic braking systems in laboratory conditions on basis of simulation results.

Key words: simulation, hardware-software complex, vehicle braking characteristics, vehicle