

УДК 629.113

В.Г. Дыгало, А.А. Ревин

ВИРТУАЛЬНО-ФИЗИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)

Рассматривается виртуально-физическая технология моделирования при проектировании систем активной безопасности колёсных машин.

Ключевые слова: виртуально-физическая технология моделирования, колёсная машина, система активной безопасности, эффективность торможения, имитатор вождения.

Каждый год в мире происходит огромное количество ДТП. Примерно с 60-х годов прошлого века начинают активно развиваться системы пассивной безопасности (рис. 1). С конца 70-х одновременно с появлением антиблокировочных систем (АБС) на серийных машинах начинается бурное развитие систем активной безопасности.

Применение новых систем активной безопасности усложняется, поскольку совместно с усложнением исполнительных механизмов совершенствуются и расширяются алгоритмы работы системы [1–3].

Данный фактор приводит к тому, что очень сложно на этапе испытаний и оценки работы системы в совокупности с шасси автомобиля идентифицировать все недочеты, допущенные при проектировании. А это приводит к значительным временным и финансовым затратам.

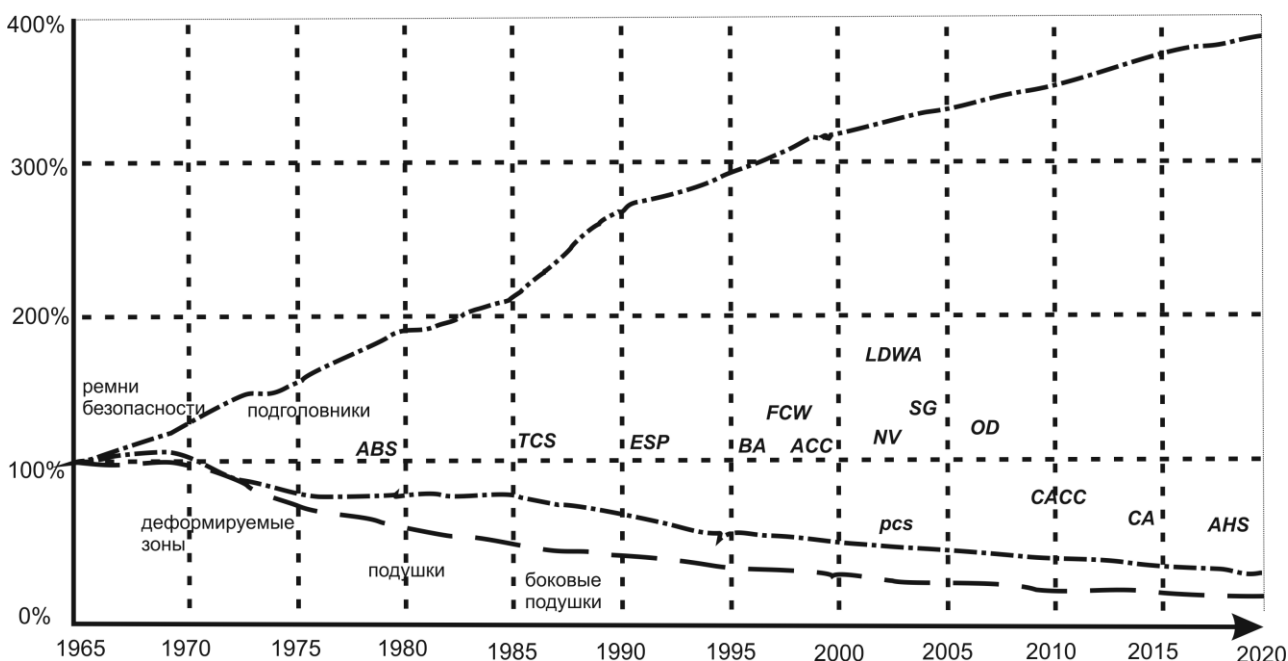


Рис. 1. Развитие систем безопасности, устанавливаемых на автомобиль

В настоящее время все производители стараются ускорить цикл проектирования колёсных машин, одновременно совершенствуя модельный ряд, предлагая все более новые системы, упрощающие процесс управления колёсной машиной в сложных режимах движения. В области проектирования и производства колёсных машин за последние годы произошли очень серьезные изменения. Можно даже заключить, что цифровые технологии набрали в

середине 90-х годов некую критическую массу, которая позволила почти всем крупным производителям разом совершить качественный скачок.

Конкуренция вынуждает производителей все больше и больше сокращать сроки разработки и организации производства новых моделей. Кроме того, производимую продукцию необходимо сертифицировать согласно международным нормативам и требованиям.

Данное стремление приводит к все большему усложнению систем, что влечет за собой вопрос о выявлении ошибок на ранних стадиях проектирования автомобиля.

Известно много случаев, когда новая модель, запущенная в серийное производство, отзывалась на завод или в сервисные центры для устранения недостатков, допущенных при проектировании изделия. Данное явление особенно опасно в случае ошибок в системах активной безопасности, таких как тормозные.

Отечественные производители автотранспортных средств в последнее время активизировали работы по установке АБС на свою продукцию. Известно, что основные требования к тормозным системам автомобилей с АБС определяют правила № 13 ЕЭК ООН (ГОСТ Р 41.13, ГОСТ Р 41.13Н). Внедрение АБС на конкретных типах автомобилей связано с определенными трудностями и материальными затратами, особенно остро проявляющимися на этапе доводки. Строительство собственных специальных полигонов для испытания тормозных автоматизированных систем чрезвычайно дорого из-за специальных требований к поверхности дороги. Следует признать, что полигонные испытания не являются идеальным средством для проведения доводочных работ и используются фирмами на этапе заключительной оценки, поскольку они не позволяют обеспечить высокую воспроизводимость условий испытаний автомобиля при оценке его свойств наиболее эффективным методом сравнения состояний. Это приводит к невозможности отслеживания влияния какой-либо отдельно взятой настройки блока управления АБС, структурной схемы или выбранного технического решения исполнительской части на процесс торможения в целом. Кроме того, новыми регламентами допускается проведение альтернативных испытаний при сертификации новых систем (приложение 21 к правилам 13 ЕЭК ООН).

Проведение испытаний на стендовом оборудовании в лабораторных условиях дает несомненные преимущества перед полигонными. Возможно обеспечение отличной воспроизводимости условий испытаний, а также обеспечение секретности разработок от посторонних глаз. Проведение испытаний в лаборатории не зависит от погодных условий и времени суток, что позволяет значительно сократить сроки разработки и адаптации новых систем. Однако современные стенды классического типа (роликовые, барабанные и ленточные), обеспечивающие скорость движения колёсной машины свыше 100 км/ч, довольно дорогостоящи и громоздки. Например, стенды, разрабатываемые для крупнейших автомобилестроительных концернов фирмой MTS, обходятся заказчику в сумму ~ 10 млн долл.

При разработке новых систем перед конструкторами встает вопрос апробирования принятых при проектировании решений. Если рассмотреть цикл проектирования тормозных систем, то можно отметить, что несомненную помощь на определенных этапах оказывают комплексы CAD/CAE/CAM, но в случае проведения испытаний тормозных и других систем возможностей данных комплексов оказывается недостаточно.

Выходом из создавшейся ситуации является дальнейшее совершенствование стендового оборудования и методов испытаний, которые в рамках доводочных испытаний позволяют получить необходимую информацию о разработанной системе, оценить эксплуатационные свойства колёсной машины с АБС в режиме торможения, выбрать оптимальную структуру управления тормозными механизмами.

Для подготовки к сертификации и проверки работоспособности систем колёсной машины экономически целесообразно после этапа проектирования осуществлять проверку принципиальной правильности принятия решений на основе проведения комплексного моделирования систем и агрегатов колёсной машины.

Проведенные с 70-х годов исследования в области комплексной технологии модели-

рования (КТМДА) позволяют сделать вывод о возможности проведения виртуальных лабораторных испытаний новых образцов тормозных систем и проверки правильности принятых решений [4–11].

Например, несмотря на применение комплексов CAD/CAE/CAM на этапе функциональных испытаний, возможностей последних зачастую оказывается недостаточно при проектировании и отработке перспективных систем.

В отличие от существующего стендового оборудования для испытания тормозных систем, виртуально-физическая технология моделирования предполагает замену реального колеса на математическое описание.



Рис. 2. V-цикл проектирования системы активной безопасности

Однако, после проведения функциональных испытаний, для запуска новой модели системы автомобиля в серийное производство необходимо проведение большого количества доводочных испытаний, в ходе которых ведется проверка на соответствие нормативным требованиям как автомобиля в целом, так его отдельных узлов и агрегатов. Дорожные испытания являются наиболее ресурсоемкими и дорогими. Причем проведение данного вида испытаний возможно лишь на специально оборудованных для этого полигонах (на территории РФ – НИЦИАМТ г. Дмитров, 21 НИИ МО г. Бронницы). К тому же дорожные испытания являются и самыми опасными как для водителя оператора – испытателя, так и для дорогостоящей измерительной техники, не говоря уже о самой исследуемой колёсной машине. Являясь основным критерием правильности принятых технических решений, вместе с тем, дорожные испытания не позволяют добиться идеальной воспроизводимости условий проведения эксперимента, так как параметры дорожного полотна и окружающие условия в разные временные отрезки не совпадают. Вследствие этого довольно трудно, а порой и невозможно, например, отследить влияние какого-либо из параметров настройки блока управления системой. При проведении дорожных испытаний в условиях жесткой конкуренции появляется проблема – защита новых моделей и разработок от посторонних «глаз» конкурентов.

Виртуально-физическая технология моделирования (ВФТМ) позволяет решить указанные проблемы, возникающие перед конструкторами и испытателями новых систем. На

рис. 2 представлен V-цикл проектирования системы активной безопасности с учётом возможности использования современных методов проектирования и проведения испытаний.

На этапе проектирования и расчета системы, а в последствии и конкретного модуля максимально облегчить труд позволяют программные пакеты математического моделирования (ММ).

На этапе проверки, контроля и испытаний возможно широкое применение ВФТМ. Данная технология позволяет совмещать натурные агрегаты систем с математическим описанием динамики протекающих процессов и явлений. Управление физическим объектом, как и расчет модели, ведётся в реальном масштабе времени. При этом, если на этапе верификации системы была найдена ошибка, то возможно провести быстрое прототипирование и применить ВФТМ, скорректировав спецификацию системы, что не вызывает значительных задержек при проектировании, и проблема может быть решена локально.

В настоящее время одной из современных стала электрогидравлическая тормозная система (electro-hydraulics breaking (EHB) system).



Рис. 3. Внешний вид стенда для испытаний электрогидравлических тормозных систем (

Для проведения поэлементных и комплексных испытаний электрогидравлических тормозных систем в лаборатории и отработки принципов торможения по проводам (break by wire technology), а также поиска путей снижения стоимости системы был создан испытательный стенд (рис. 3), при построении которого были использованы принципы комплексной технологии моделирования. Стенд разработан в результате сотрудничества кафедры Технической эксплуатации и ремонта автомобилей Волгоградского государственного технического университета (Россия), и кафедры Механики Туринского политехнического института (Италия).

Для обеспечения моделирования рабочих процессов EHB на стенд были установлены: гидравлический блок Bosch ESP 5.7, блок электроклапанов от гидравлического блока Bosch ABS 5.3, передний тормозной механизм от автомобиля Alfa Romeo 166, гидроаккумулятор для поддержания высокого давления в системе, гидравлический цилиндр двустороннего действия, подключенный к насосной станции для имитации нажатия на тормозную педаль с разными скоростями.

Вычислительная часть стенда построена на базе двух персональных компьютеров, использующих MathLab/Simulink для построения модели на головном компьютере – сервере. Для обеспечения управления стендом и обработки сигналов в реальном масштабе времени использовалась операционная система реального времени MathWorks XPCtarget, загружаемая на второй «целевой» компьютер, оснащенный устройствами сопряжения объектов. Перед проведением испытаний модель компилируется и загружается на «целевой» компьютер, который после запуска процесса моделирования выполняет управление стендом и осуществляет сбор и обработку данных автономно.

Расчет модели и работа стенда проводились с временным интервалом 0,001 с в реальном масштабе времени за счет применения операционной системы реального времени.

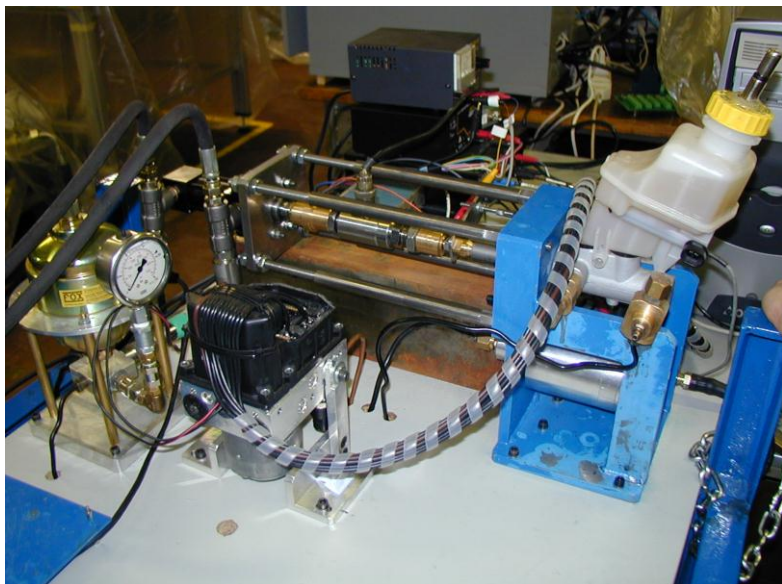


Рис. 4. Вид монтажа гидравлического блока Bosch ESP 5.7, гидроаккумулятора высокого давления, гидроцилиндра, главного тормозного цилиндра и эмульгатора усиления педали

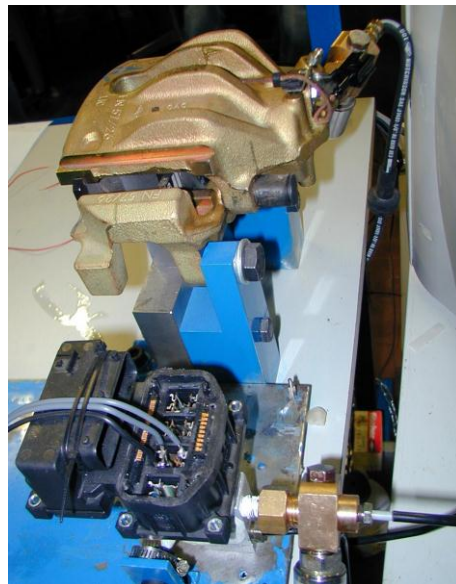


Рис. 5. Вид монтажа тормозного механизма и клапанов гидравлического блока Bosch ABS 5.3

Для коммутации, обеспечения работы клапанов гидравлического блока и возможности изменения алгоритма работы разработана и изготовлена оригинальная коммутационная аппаратура. В качестве электрических переключателей клапанов гидравлического блока применялись реле фирмы CRYDOM с временным интервалом работы 0,001 с.

Система датчиков подключена к двум платам производства National Instruments, для аналого-цифрового преобразования сигналов датчиков стенда и передачи управляющих сигналов на стенд. Необходимо отметить, что данные результаты были достигнуты с использованием элементов стандартных, серийно выпускаемых и широко используемых систем Bosch ESP 5.7 и Bosch ABS 5.3. Это позволяет предположить, что в недалеком будущем возможно широкое применение гидравлических тормозных систем на более доступных для потребителя автомобилях.

Таким образом, стенд дает возможность проводить полный цикл испытаний электрогидравлических тормозных систем и отработки логики работы блока управления в лабораторных условиях, позволяя находить пути снижения стоимости системы и сокращать затраты на проведение функциональных испытаний.

Проведение испытаний в лаборатории позволяет добиться прекрасной воспроизводимости испытаний и защитить новые разработки.

Выполнение данных исследований возможно на специальном стенде, позволяющем имитировать управляющие воздействия водителя и реакцию на них автомобиля, а также об-

ратное действие – исследование физиологической реакции на человека посредством механизмов управления, поскольку, согласно требованиям правил № 13 ЕЭК ООН, водитель может корректировать траекторию движения автомобиля в процессе торможения.

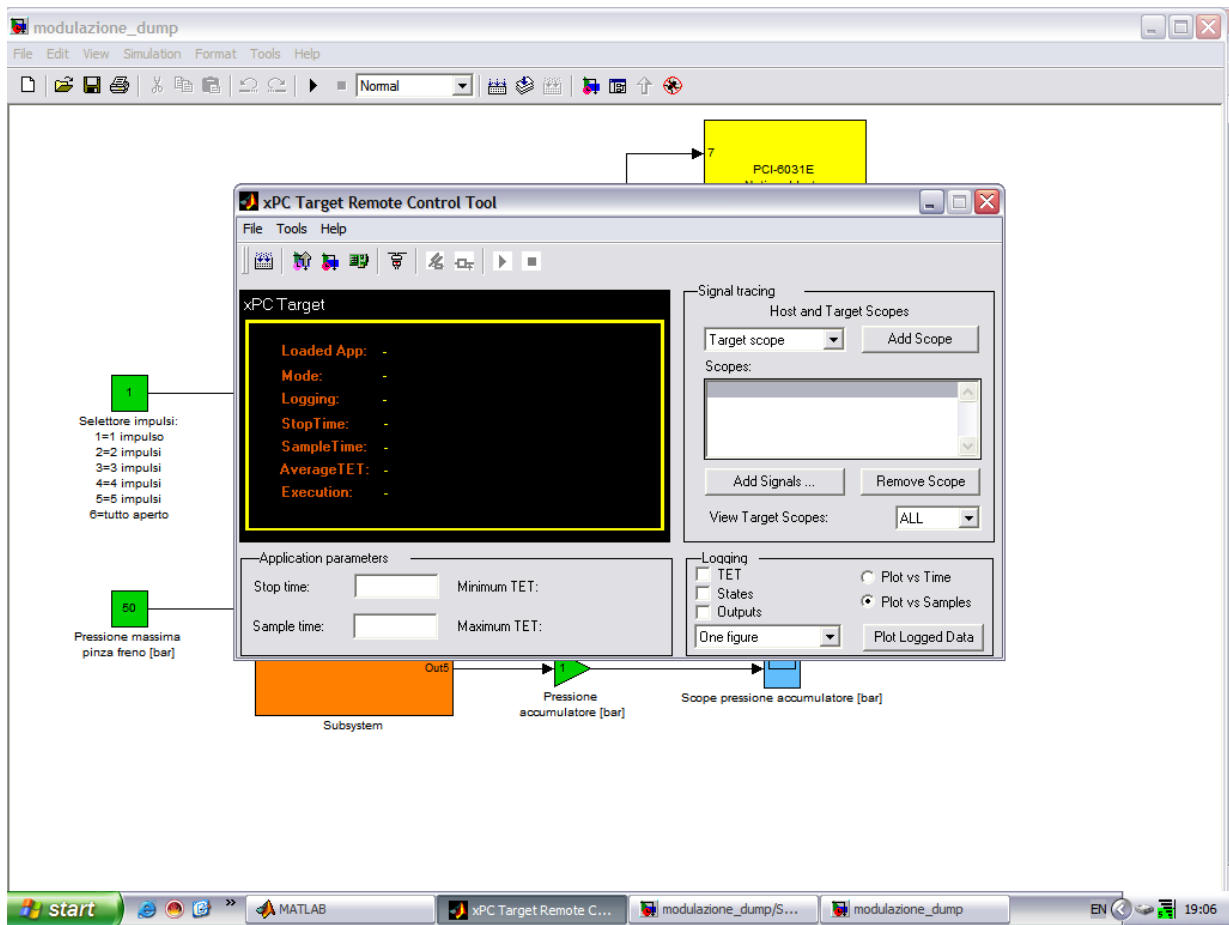


Рис. 6. Окно MathLab/Simulink с запущенной панелью удаленного контроля XPCtarget

Величина и динамика изменения момента на рулевом колесе являются важной для водителя информацией, используемой им для контролирования и прогнозирования поведения автомобиля. Практика показывает, что во время движения водитель управляет рулевым колесом непрерывно (левая рука находится 99 % времени на руле, а действия правой руки распределяются между рулевым колесом 81 % и рычагом переключения передач 13 % времени). Следует добавить также то обстоятельство, что управление траекторией автомобиля с АБС в режиме экстренного торможения имеет свою специфику. По мнению специалистов ряда ведущих фирм, водителя (в том числе и водителя-испытателя) необходимо приучить к новому режиму движения с коррекцией траектории. Это обуславливает необходимость совершенствования тренажерных систем, в частности, применительно к режиму экстренного торможения. Следовательно, при проведении испытаний в лабораторных условиях необходимо обеспечить внешнее возмущение и реактивный момент, осязаемый на руле.

Для реализации выдвигаемых выше положений в ВолГТУ (в соответствии с Научно-технической программой – «Научные направления высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники», подпрограмма 205 Транспорт, раздел научно-технической программы 205.03 Наземные транспортные средства, тема 205.03.01.14 «Разработка стенда-тренажера для испытания автомобилей с АБС в режиме торможения») разработан имитационный стенд-тренажер (рис. 7). Стенд включает следующие основные узлы и блоки: соединенные в сеть три персональных компьютера; стенд с физической моделью тормозной системы легкового автомобиля, выполненной на основе реальных агрегатов тормозного приво-

да и элементов АБС; устройство для моделирования тактильных воздействий на рулевое колесо; устройство сопряжения объектов; энергетическую и измерительную систему стенда.

Созданный образец стенда позволяет проводить виртуальные испытания автоматизированных тормозных систем любых типов. Необходимо отметить, что стенды подобного типа позволяют имитировать любую скорость начала торможения, а затраты на создание подобных имитационных стендов-тренажеров не превышают 50–100 тыс. \$, в зависимости от категории автомобиля (легковой автомобиль – грузовой автопоезд, автобус), что сравнимо по стоимости с крупными аналитическими пакетами, включающими дополнительные модули анализа.

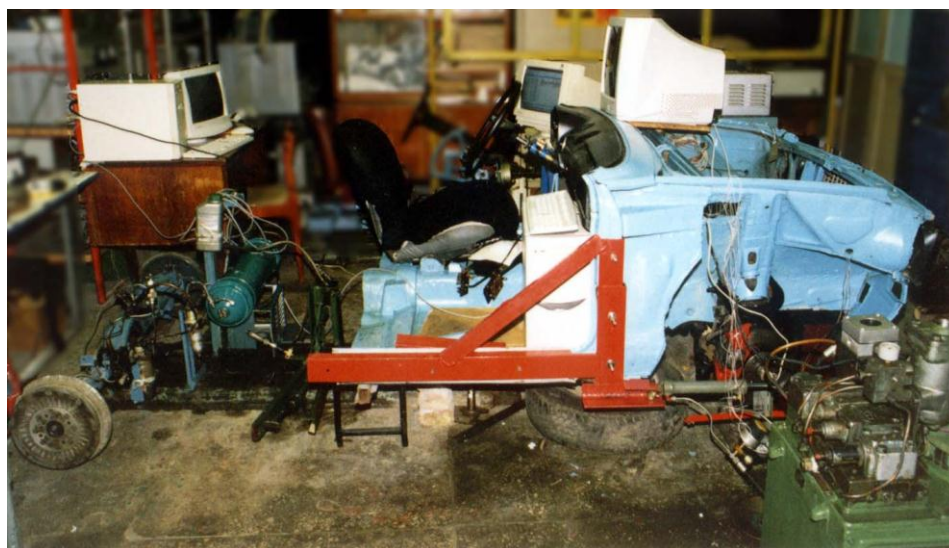


Рис. 7. Имитационный стенд-тренажер для испытания автоматизированных тормозных систем автомобилей



Рис. 8. Имитационный стенд-тренажер в ходе испытания автоматизированных тормозных систем

Созданный имитационный стенд-тренажер позволяет проводить испытания всех схем гидравлических антиблокировочных систем, существующих на данный момент.

После проведения эксперимента на имитационном стенде-тренажере возможно мгновенное получение итоговых результатов – 43 параметров, характеризующих процесс торможения. Все параметры можно отобразить и сохранить в виде графических зависимостей, или таблицы для дальнейшего анализа проведенного эксперимента.

Для рассмотрения управляемого движения в режиме торможения на имитационном стенде-тренажере перед водителем-оператором установлен монитор ПК (возможно применение и LCD проекторов и виртуальных 3D шлемов).

На персональном компьютере было реализовано построение и отображение дорожной обстановки перед колёсной машиной и динамика изменения дорожной ситуации (рис. 8).

Применение современных графических средств позволило выполнять визуализацию движения в трехмерном пространстве с качеством воспроизводимой информации, не уступающим зарубежным имитаторам езды. На экране отображается прямолинейный участок дорожного полотна с осевой линией, информирующей о границе раздела сред с различным коэффициентом сцепления. Показана часть капота колесной машины для оценки водителем габаритов автомобиля. На капоте имитируется точка цели для возможности оценки водителем величины отклонения колесной машины в процессе торможения.

Кроме имитационного стенда-тренажера, разработан программный комплекс (рис. 9), позволяющий предварительно оценить работу антиблокировочной тормозной системы, установленной на колёсную машину.

Все параметры можно отобразить и сохранить в виде графических зависимостей, или таблицы, для дальнейшего анализа поведенного эксперимента. Для удобства анализа полученных данных возможен вывод окна, отображающий значения точки кривой, на которую в данный момент наведен указатель мыши. Кроме того, предусмотрены возможности масштабирования графиков для более детального анализа отдельных участков кривой экспериментальных данных.

Применяя современные методики проведения испытаний, основанных на комплексной технологии моделирования и применении имитационных стендов-тренажеров, возможно значительное снижение затрат на проведение испытаний, сокращение сроков проектирования и объемов дорожных испытаний при внедрении автоматизированных тормозных систем.

Данные работы выполнялись в соответствии:

- с научно-технической программой «Научные направления высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники» подпрограмма 205 Транспорт, раздел научно-технической программы 205.03 Наземные транспортные средства, тема 205.03.01.14 «Разработка стенда-тренажера для испытания автомобилей с АБС в режиме торможения»;
- научно-технической программой «Научные направления высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники» подпрограмма 205 Новые авиационные, космические и транспортные технологии, раздел научно-технической программы 205.03 «Экологически чистый и высокоскоростной наземный транспорт», тема 205.03.01.001 «Разработка методики проведения комплекса доводочных испытаний автоматизированных тормозных систем автомобилей с использованием имитационных стендов-тренажеров»;
- межотраслевой программой сотрудничества Минобразования России и ОАО «АВТО-ВАЗ» проект 03.02.004. «Разработка методики построения имитационных стендов-тренажеров для проведения виртуальных лабораторных испытаний автоматизированных тормозных систем автомобилей семейства «АвтоВАЗ»» 2004 г.
- грантом президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых-кандидатов наук 2006–2008 гг. МК-9265.2006.8 «Разработка технологии и методики проведения комплексных испытаний автоматизированных тормозных систем колёсных транспортных средств».

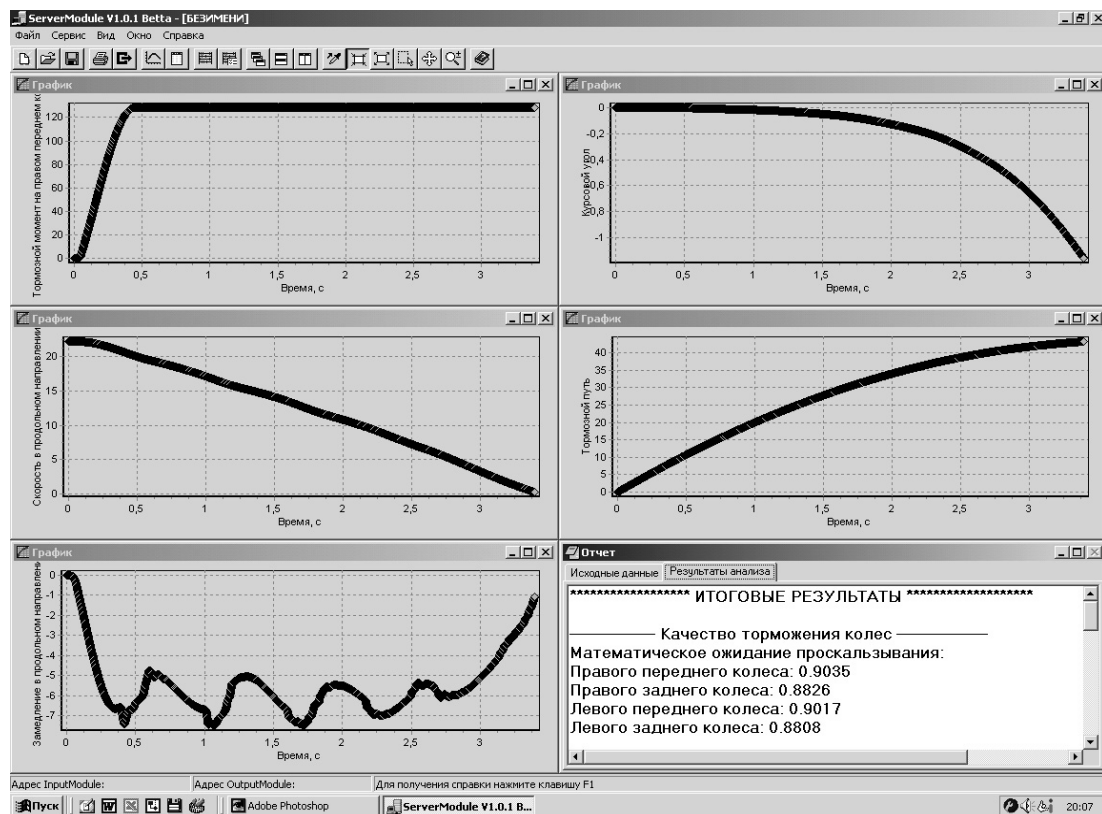


Рис. 9. Главное окно программы (просмотр результатов анализа)

Библиографический список

1. **Emig, R.** Robert Bosch GmbH, Antilock Braking Systems (ABS) for Commercial Vehicles – Status 1990 and Future Prospects / R. Emig, H. Goebels, H. J. Schramm // SAE Technical Paper Series 901177, 1990.
2. Bosch, Automotive Braking Systems, Robert Bosch GmbH, 1995.
3. Electrohydraulic Brake System – The First Approach to Brake-By-Wire Technology / Wolf D. Jonner [at al.] // SAE Technical Paper Series 960991, 1996.
4. **Ревин, А.А.** Комплексное моделирование в цикле проектирования автомобилей и их систем / А.А. Ревин, В.Г. Дыгало // Автомобильная промышленность, 2002. №11. С. 29–30.
5. **Дыгало, В.Г.** Средства виртуальных испытаний автоматизированных тормозных систем / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. // ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. С. 67–73.
6. **Ревин, А.А.** Виртуальные испытания в цикле проектирования автоматизированных тормозных систем / А.А. Ревин, В.Г. Дыгало // Наука – производству. 2005. №1. С. 43–47
7. **Дыгало, В.Г.** Стенд для комплексных лабораторных испытаний ЭГТС // В.Г. Дыгало [и др.] // Автомобильная промышленность, 2006. № 3. С. 34–35.
8. **Дыгало, В.Г.** Виртуально-физическая технология лабораторных испытаний систем активной безопасности автотранспортных средств: монография / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин. – Волгоград: ВолгГТУ, 2006. – 316 с.
9. **Дыгало, В.Г.** Виртуально-физическая технология моделирования в цикле проектирования автоматизированных тормозных систем / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. научн. тр // ВолгГТУ. 2007. Т. 8. № 2. С. 13-15.
10. **Ревин, А.А.** Комплексная технология моделирования тормозной динамики автомобиля: монография / А.А. Ревин. – Волгоград: ВолгГТУ, 2000. – 92 с.
11. **Ревин, А.А.** Исследование тормозной динамики автомобиля методами комплексной технологии моделирования: учеб. пособие/ А.А. Ревин, В.Г. Дыгало.– Волгоград: ВолгГТУ, 2001. – 122 с.

12. **Maier, M.** Robert Bosch GmbH, ABS 5.3: The New and Compact ABS5 Unit for Passenger Cars / M.Maier, K. Müller // SAE Technical Paper Series 950757, 1995.
13. **Petruccelli, L.** Electro-Hydraulic Braking System Modelling and Simulation, 21st Annual Brake Colloquium & Exhibition, October 2003 / L. Petruccelli, M. Velardocchia, A. Sorniotti. – Hollywood, FL, USA, Session: Models & Simulations, SAE 2003-01-3336.

*Дата поступления
в редакцию 12.07.2011*

V.G. Dygalo, A.A. Revin

VIRTUALLY-PHYSICAL TECHNOLOGY MODELING ACTIVE SAFETY SYSTEM

In the papers described virtually-physical technology method modeling in the process develop active safety system vehicles.

Key words: virtually-physical technology modeling, vehicles, active safety system, efficiency breaking, driving simulator.