

УДК 621.26:629.243:629.244

Повышение эксплуатационных показателей автобуса путем интегрированного управления подвеской и трансмиссией

Канд. техн. наук, доц. В. В. Михайлов¹⁾, инж. А. Г. Снитков¹⁾, канд. техн. наук С. В. Ляхов¹⁾

¹⁾ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Выполнены полунатурные испытания активной пневматической подвески туристического автобуса массой 18 т с системой автоматической стабилизации кузова мобильной машины и обратной связью по кинематическому параметру при его комплектации автоматической гидромеханической передачей при разгоне, переключениях или торможении на дороге, заданной случайными неровностями. Проведено компьютерное моделирование динамических структур в комбинации с виртуальными приборами и реальными объектами (HIL – Hardware-in-the-Loop Simulation). В процессе исследования использовали персональные компьютеры, программное обеспечение, программируемый логический контроллер, генератор частоты, электромагнитный клапан. Предлагается оригинальный способ повышения эксплуатационных свойств, основанный на интегрированном управлении подвеской и автоматической гидромеханической трансмиссией. Математическая модель включает системы автоматической трансмиссии, подвески и модуль генерации случайных дорожных неровностей. Эта модель была положена в основу полунатурного лабораторного стенда с промышленно выпускаемым контроллером, другими компонентами автоматических систем и штатных органов управления. Наиболее эффективным способом стабилизации кузова считается управление подвеской по параметру угловой скорости вертикального поворота продольной оси автомобиля с точкой поворота в центре масс. Разработанные алгоритм и система стабилизации по угловой скорости поворота продольной оси кузова позволили улучшить динамику автобуса при переключениях передач и снизить расход топлива при трогании и разгоне. Одновременно при торможении такая система уменьшает амплитуду колебаний отдельных параметров более чем в два раза.

Ключевые слова: модель, пневматическая подвеска, трансмиссия, управление, неровности, HIL-стенд

Для цитирования: Михайлов, В. В. Повышение эксплуатационных показателей автобуса путем интегрированного управления подвеской и трансмиссией / В. В. Михайлов, А. Г. Снитков, С. В. Ляхов // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 1. С. 37–45

Improvement of Bus Operational Characteristics While Using Integrated Control of Suspension and Transmission

V. V. Mikhailau¹⁾, A. G. Snitkov¹⁾, S. V. Liahov¹⁾

¹⁾State Scientific Institution “Joint Institute of Mechanical Engineering of National Academy of Sciences of Belarus” (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Semi-natural tests for active pneumatic suspension of a 18-tonne tourist bus with the system of automatic body stabilization of the mobile machine and feed-back coupling according to kinematics parameter. The test have been executed in the cases when the bus is stocked with an automatic hydro-mechanical transmission in the process of speed picking up, gear-changing or road braking which is assigned by accidental road humps. A computer simulation of dynamic structures in combination with virtual devices and real objects (HIL – Hardware-in-the-Loop Simulation) has been carried in the paper.

Адрес для переписки

Михайлов Валерий Валерианович
ГНУ «Объединенный институт машиностроения
НАН Беларуси»
ул. Академическая, 12,
220072, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 284-25-93
valery.mikhailov@gmail.com

Address for correspondence

Mikhailau Valeriy V.
State Scientific Institution “Joint Institute of Mechanical
Engineering of National Academy of Sciences of Belarus”
12 Akademicheskaya str.,
220072, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 284-25-93
valery.mikhailov@gmail.com

Personal computers, software, programmed logic controller, frequency generator, solenoid-operated valve have been used for the investigation process. The paper proposes an unconventional method for improvement operational characteristics which is based on integrated control of a suspension and automatic hydro-mechanical transmission. A mathematical model includes systems of automatic transmission, suspension and module for generation of accidental road humps. The model has been considered as a basis for semi-natural laboratory bench with industrially-manufactured controller, other components of automatic systems and standard control organs. The most efficient method for body stabilization is control of the suspension according to the parameter of angular rate during vertical turn of an automobile's center line with a turning point in the center of mass. The developed algorithm and stabilization system according to angular rate of body's center line turning have made it possible to improve dynamics of the bus while making gear-changing and to reduce fuel consumption during starting-up and speed picking-up processes. During the braking process such system simultaneously decreases oscillation amplitude of some parameters more than two-fold.

Keywords: model, pneumatic suspension, transmission, control, road humps, HIL-simulation

For citation: Mikhailau V. V., Snitkov A. G., Liahov S. V. (2016) Improvement of Bus Operational Characteristics While Using Integrated Control of Suspension and Transmission. *Science & Technique*. 15 (1), 37–45 (in Russian)

Введение

Условием эффективной работы мобильных машин является слаженное взаимодействие основных систем шасси, в том числе трансмиссии, подвески, тормозной системы, рулевого управления и др. В помощь водителю создаются так называемые «ассистенты», автоматизирующие процесс управления в тех или иных ситуациях. Отдельные системы шасси мобильных машин и их модели достаточно представлены в современной научной и технической литературе, например для исследования угловых колебаний кузовов автотранспортных средств [1], активных подвесок с управляющими контурами [2], колебаний мобильных машин при повороте управляемых колес [3] с учетом работы автоматизированных трансмиссий [4].

Комплексное создание ассистентов водителя типа ESP (Electronic Stability Program) отражает суть дальнейшего последовательного объединения разнотипных систем и устройств в единый управляемый блок. Сегодня на автомобиле одновременно может взаимодействовать несколько автономных управляемых колебательных систем с наложенными на них случайными воздействиями от неровностей опорной поверхности, например, как показано в [5].

Чаще всего автоматические системы управления работают с гидравлической или пневматической рабочей средой, обладают сравнительно высоким быстродействием для регулирования давления фрикционов, элемента подвески, других исполнительных устройств. В этой связи весьма важным является проведение экспериментов и исследований в реальном (Real Time) режиме времени [6], что определяет серьезные требования к виртуальной части исследовательского

комплекса и высокому качеству применяемых моделей.

Очевидно, что улучшение отдельных эксплуатационных свойств не должно отрицательно влиять на другие. Например, автоматизация трансмиссии не должна отрицательно сказываться на плавности хода или ухудшать топливную экономичность. Поэтому разработку и корректировку систем шасси следует проводить комплексно, с учетом различных состояний, для чего авторы достаточно время создают алгоритмы управления, модели и стенды, при помощи которых надежно и безопасно производят весь экспериментальный подготовительный цикл.

В настоящей работе показана технология исследования и отладки контура управления активной подвеской заднего моста туристического автобуса при его прямолинейном движении с учетом переходных процессов в автоматической трансмиссии, угловых и вертикальных колебаний кузова при движении по случайным неровностям опорной поверхности, приведены результаты исследований.

Основная часть

При угловой продольной стабилизации колебаний кузова автомобиля особенно важными считаются три основных компонента колебательной системы: кузов транспортного средства, системы подвески и колес (неподдрессированные массы). Кинематика и динамика подвески могут быть описаны при взаимодействии между собой указанных твердых тел и безынерционных упругих элементов. Включение в систему взаимодействия случайных неровностей дороги и шин также является неотъемлемой

частью процесса исследований динамики автомобиля, например, как уже это сделали авторы [7]. Окончательный выбор математической модели зависит от возможностей корректного получения и использования нелинейных характеристик элементов, совмещения модели подвески с элементами трансмиссии и случайными неровностями опорной поверхности в реальном режиме времени.

Несмотря на то что в настоящее время наибольшее распространение получают все же пассивные системы амортизации, применение таких систем во всем диапазоне колебательных явлений неоднозначно сказывается на качестве движения и неизбежно ведет к ухудшению показателей плавности. Поэтому ставится задача создания активных систем демпфирования продольно-угловых колебаний и в первую очередь в низкочастотной области. Для длинноразмерной конструкции, каковой является кузов туристического автобуса, гашение колебаний и подавление амплитуд динамических воздействий могут быть определены как первоочередные меры [1]. Вследствие этого введение контура активного управления подвеской ведущего заднего моста и ее элементами имеет практический интерес.

Поскольку наилучшим образом может быть реализована одноконтурная система активного управления упругодемпфирующими элементами подвески, было предложено апробировать, наряду с элементами пассивной двухбаллонной подвески переднего моста туристического автобуса массой 18 т, активный ее блок в виде четырех аналогичных баллонов заднего моста для стабилизации углового перемещения подвешенной массы.

В [8] определена роль подвески не только для выполнения основной функции изоляции пассажиров и шасси от воздействий неровностей дороги, но и контроля качества движения. В этой связи к новым технологиям управления, включающим электронные блоки, проявляется большой интерес. Эти системы имеют активные компоненты, управляемые микропроцессором. С помощью такой конструкции может быть произведена существенная модернизация транспортного средства. При этом выбранный способ управления также занимает важное место в процессе разработки.

Двухколесная математическая модель подвески автобуса с обратной связью по угловому отклонению кузова в интегрированном стенде для исследования системы в реальном времени

В связи со значительной массой автобуса (18 т) выбран зависимый тип подвески. Зависимая подвеска обеспечивает большой срок службы всех шарниров в связи с меньшими нагрузками в них, имеет лучшую ремонтопригодность.

С учетом [7] авторами для исследовательского HIL-стенда (HIL – Hardware-in-the-Loop Simulation) в среде разработки LabVIEW разработан виртуальный прибор управляемой подвески с регулируемыми значениями жесткости, в том числе с имитацией пневматических баллонов заднего моста (рис. 1).

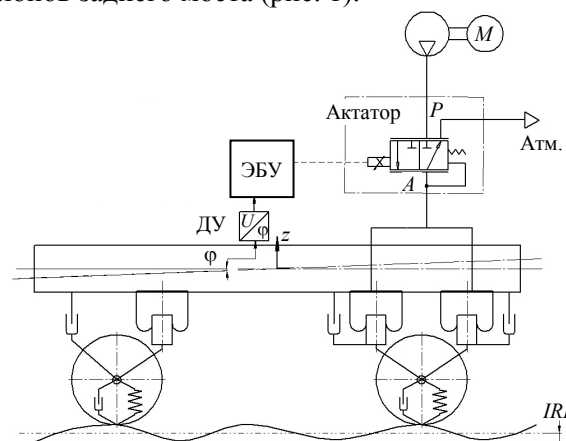


Рис. 1. Блок-схема виртуального прибора подвески автобуса с регулируемыми пневматическими баллонами заднего моста

Fig. 1. Block-diagram of virtual device for bus suspension with regulated pneumatic cylinders of rear axle

Регистрация колебаний (отклонений угла φ и изменения ординаты z) кузова автобуса осуществляется при воздействии на систему виртуальных приборов, имитирующих случайные неровности согласно [7], а также упругого момента на колесах трансмиссии [4]. Параметры этих неровностей регулируются в реальном времени исходя из настройки средней величины IRI (International Roughness Index), равно как и параметры работы автоматической трансмиссии согласно [6].

Решение задачи управления угловым положением кузова проведено по информации от

двух ультразвуковых датчиков перемещений (ОАО «Измеритель», г. Новополоцк, Республика Беларусь), пересчитываемых в продольный угол поворота кузова $\Delta\varphi$.

Задача стабилизации решается посредством введения активной обратной связи по угловому отклонению в контроллер с последующим пропорциональным управлением потока воздуха, нагнетаемого в пневмобаллоны подвески заднего моста автобуса.

Такой виртуальный прибор подвески для плоской двухколесной модели [7] автобуса, работающий в реальном времени с регулированием параметров подвески для ее динамических испытаний, представлен на рис. 2.

**НП-стенд, реализующий систему активной стабилизации
углового положения кузова автобуса
с виртуальными приборами
автоматической трансмиссии
и случайных неровностей**

Сборка испытательного НП-стенда произведена на основе промышленного программируемого контроллера высокой производительности, выпускаемого ОАО «Измеритель» для САУ ГМП отечественных мобильных машин, позволяющего управлять восьмью актюаторами

одновременно, а также обрабатывать значительные массивы значений. Это обеспечивает высокое быстродействие регулирования элементов подвески и высокий уровень комфорта пассажиров. Общий вид стенда представлен на рис. 3.

Контроллер (ЭБУ – электронный блок управления) имеет следующие параметры:

- микропроцессор: тактовая частота 72 МГц, количество разрядов 16, оперативная память (RAM) 64 кбайт;
- входные сигналы: аналоговые – 10, дискретные – 11, частотные – 4 (диапазон измерения частоты 0–10 кГц), резистивные для измерения температуры – 2;
- выходные сигналы: ШИМ для управления электромагнитами УРК – не менее 9 шт. (все каналы ШИМ должны быть оснащены обратными связями по току, диапазон регулирования тока 0–2,3 А, рабочий диапазон частоты до 1,0 кГц, частота осцилляции до 100 Гц); дискретные выходы: на ток 3,0 А – 6 шт., на ток 0,2 А – 2 шт.;
- интерфейс CAN 2.0 В по ISO 11898 – 2 шт.;
- питание ЭБУ – бортовая сеть. Номинальное напряжение питания 24 В по ГОСТ 3940–2004, диапазон допускаемого изменения напряжения 18–32 В.

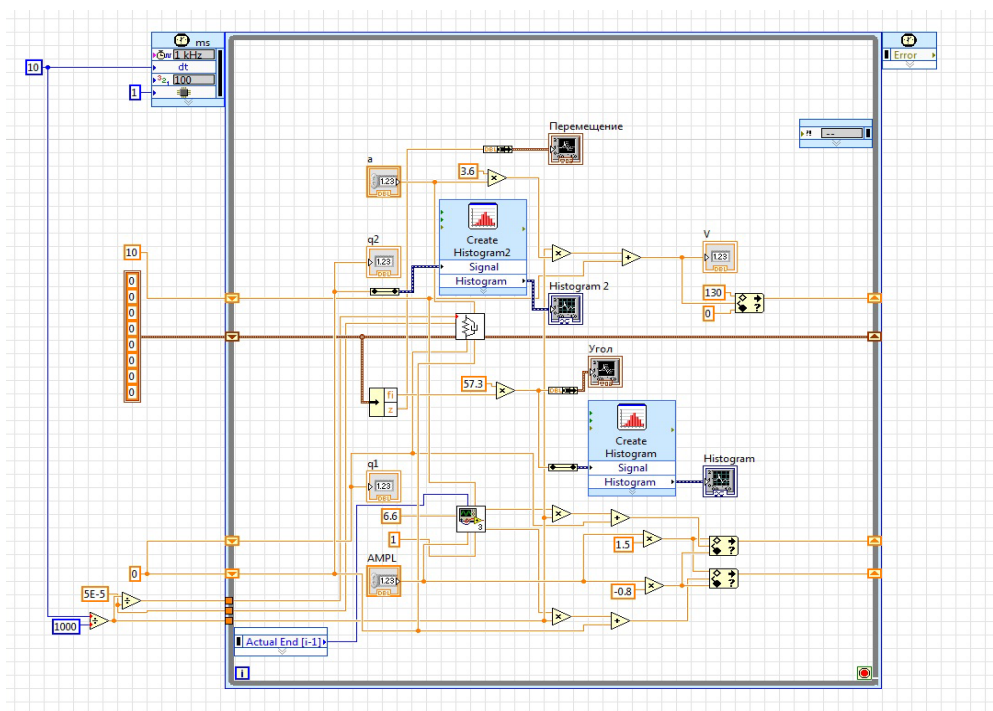


Рис. 2. Реализованная блок-схема виртуального прибора подвески автобуса

Fig. 2. Realized block-diagram of virtual device for bus suspension

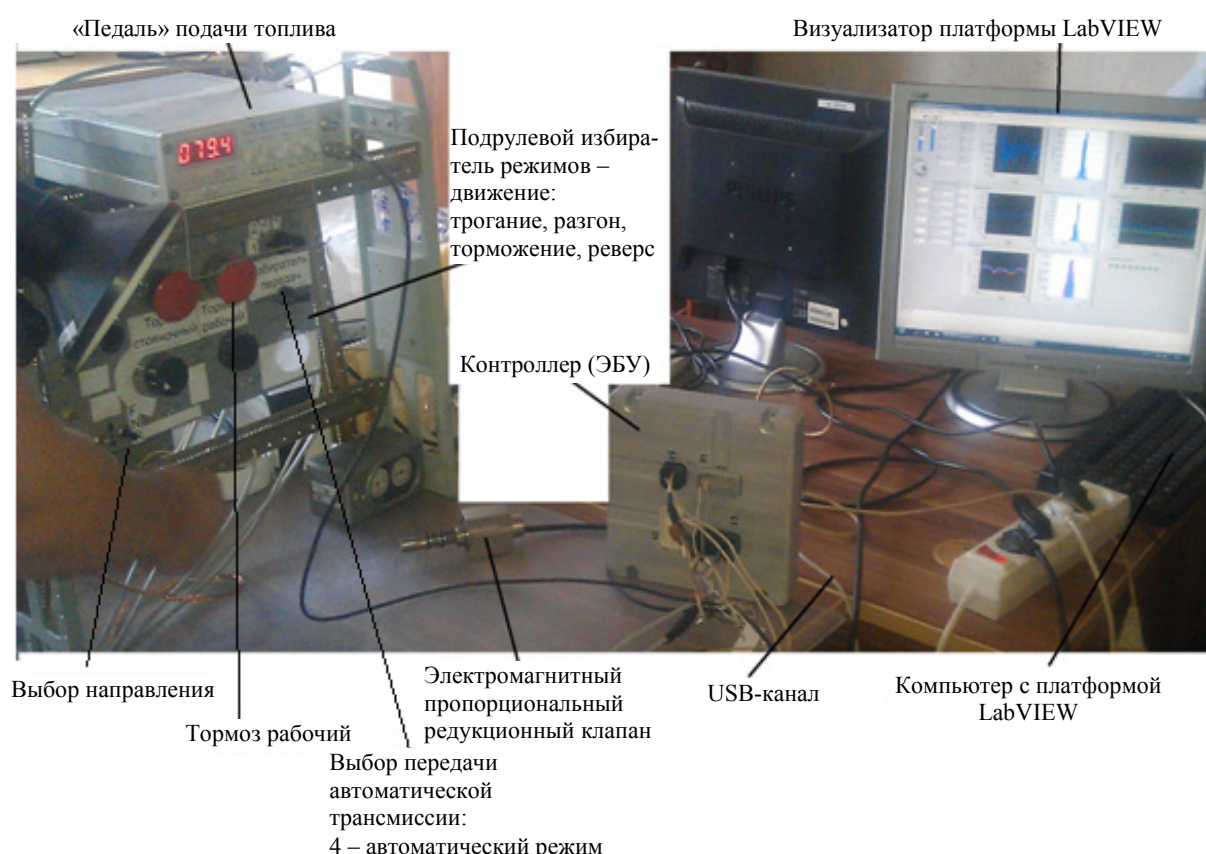


Рис. 3. Общий вид HIL-стенда с использованием средств цифровой регистрации и измерения электрических параметров для исследования и отработки взаимодействия алгоритмов управления и штатных аппаратных средств для системы стабилизации кузова автобуса с автоматической гидромеханической трансмиссией

Fig. 3. General view of HIL-test-bench while using digital registration and measuring electrical parameters for investigation and optimization on interaction of control algorithms and operational apparatus facilities for stabilization system of bus body with automatic hydro-mechanical transmission

Режим работы ЭБУ – продолжительный номинальный S1 по ГОСТ 3940–2004.

Согласно представленной на рис. 4 схеме стенда, имитация движения автобуса начинается выбором положения избирателем режимов 1 (селектором), сигналы от которого через контроллер (ЭБУ) 11 поступают в кластер 2. Регулирование двигателя осуществляется потенциометром – аналогом «педали» подачи топлива 3, имитируемого физическим сигналом генератора частоты и подаваемого на соответствующие клеммы 11. ЭБУ 11 через USB-канал 4 сопряжен с кластером 2. В свою очередь кластер 2 включает модели алгоритма 5 работы автоматической трансмиссии автобуса, представленной моделью 6. Другой компьютер кластера 2 содержит модель подвески 7 с генератором 8 случайных неровностей.

В схеме имеется система стабилизации положения кузова автобуса по параметру (углу,

перемещению центра масс) или его скорости, которая включает контроллер с алгоритмом 9 и исполнительное устройство в виде электромагнитного клапана. Алгоритм 9 стабилизации реализован в виде конечного автомата с пороговым регулированием давления по непрерывно изменяемому току управления, подаваемому на клеммы платы сбора данных (контроллер), и имитацией включения кнопок «Включено» или «Выключено».

Все созданные компоненты подготовлены и протестированы соответствующим образом, как показано на рис. 3, для схемы на рис. 4.

Компоненты системы взаимодействуют через контроллер (ЭБУ) и USB-порт между контроллером и соответствующим главным HOST-компьютером. Как показано на рис. 3, HOST-компьютер реализует все модели, алгоритмы управления, дисплей, пульт управления (частично) и обработчик данных LabVIEW.

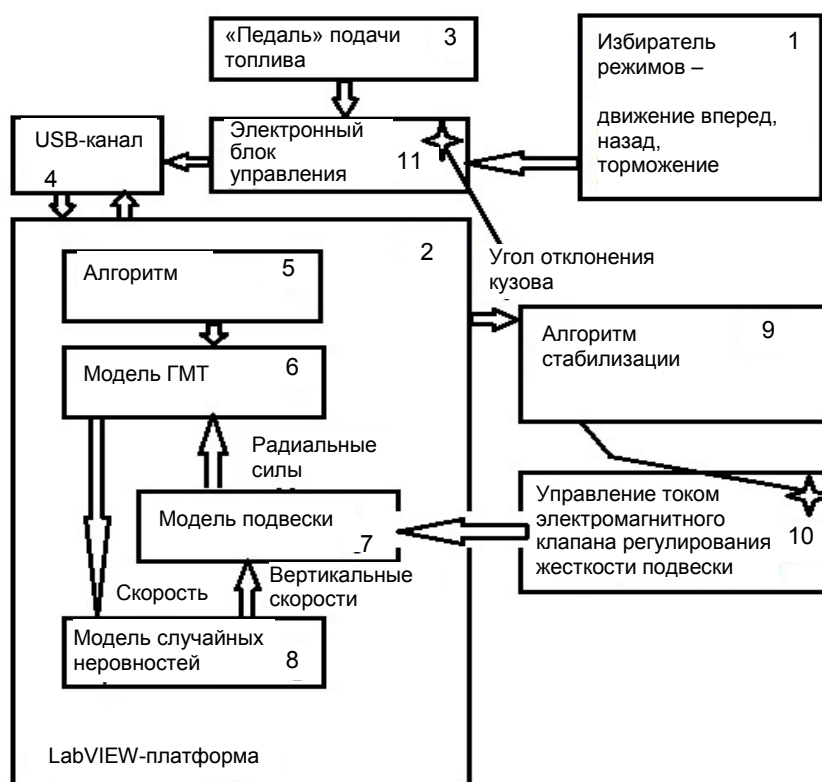


Рис. 4. Схема взаимодействия блоков испытательного НН-стенда

Fig. 4. Scheme of block interaction for HIL-test-bench

Установка вариантов алгоритма в контроллер может производиться периодически после отдельной корректировки и доводки в процессе эксплуатационных испытаний объекта, во время которых контроллер является источником информации, передаваемой для записи и обработки на мобильный сервер. Это позволяет избежать смещения аппаратных и алгоритмических ошибок и значительно ускорить процесс производства системы.

Испытательный НИЛ-стенд работает следующим образом. На дисплее HOST-компьютера запускается модель трансмиссии и подвески с инициализацией всех устройств. Выбирают режим движения дискретным включением тумблеров направления движения «Вперед» или «Назад», изменяют положение «педали» и условной «дроссельной заслонки», выбирая скорость движения автобуса. В последующем, используя виртуальные ползунки регулирования параметров модели трансмиссии, сопротивления движению, подвески и неровностей, определяют соответствующий режим исследования процессов. При включении тумблера «Включение» осуществляется стабилизация кузова по соответствующему алгоритму управ-

ления. При нахождении тумблера в положении «Выключено» система стабилизации не функционирует. Управление системой, выбор включения и выключения системы стабилизации, корректировка движения осуществляются алгоритмом автономно и автоматически без участия оператора с реализацией кинематических и силовых движений на экране HOST-компьютера.

Тестирование ННЛ-комплекса производили для параметров автобуса, которые представлены в табл. 1. Расчеты проводили для случая разгона туристического автобуса до скорости 130 км/ч с ускорением 1 м/с^2 . Согласно нормативным документам предельные технические нормы плавности хода автобусов должны соответствовать среднеквадратическим значениям линейных ускорений до $1,3 \text{ м/с}^2$.

На основании [9–12], отечественного и зарубежного опыта угол бокового наклона кузова должен выбираться не более 7° для легковых автомобилей и до 6° – для грузовых и автобусов. Параметры вертикальных колебаний кузова могут лишь рекомендоваться к применению. При большем количестве систем шасси можно использовать опыт исследований [10–12].

Таблица 1

Параметры туристического автобуса,
для которых проводился эксперимент

Parameters of tourist bus under experimental conditions

Параметр	Значение
Габаритные размеры автобуса, мм	12000/2550/3820
База, мм	6060
Колея колес (передних/задних), мм	2093/1825
Количество мест для сидения, шт.	45
Максимальная скорость, км/ч	134
Двигатель	MAN D 2866 LOH 28(E-3)
Мощность двигателя, кВт (л. с.)	265 (360)
Колеса	8.25×22.5
Размер шин	Бескамерные 295/80R22.5
Полная масса, кг	18000
Поддрессоренная масса автобуса, кг	16200
Неподдрессоренная масса переднего моста, кг	625
Неподдрессоренная масса заднего моста, кг	1200
Высота центра тяжести, м	1,25
Положение центра масс, м	3,703/2,357
Жесткость шин переднего моста, Н/м	1100000

Окончание табл. 1

Параметр	Значение
Жесткость шин заднего моста, Н/м	2200000
Средний коэффициент демпфирования элементов, Н·с/м:	
переднего моста	14045
заднего моста	20000
Ход сжатия, м	0,1
Ход отбоя, м	0,1
Размеры пневмобаллона, диаметр/высота, мм	450/300
Диапазон средних высот случайных неровностей IRI, мм/м	3,7–8,0

Обсуждение

Пример расчета представлен на рис. 5. Последующий анализ полученных результатов показал работоспособность стенда, созданного сочетанием моделей и физических устройств, органов и системы управления на единой управляемой платформе, работающей в реальном времени. Последнее является наиболее важным моментом для коррекции алгоритмов управления, диагностирования и безопасной адаптации подобных управляющих систем.

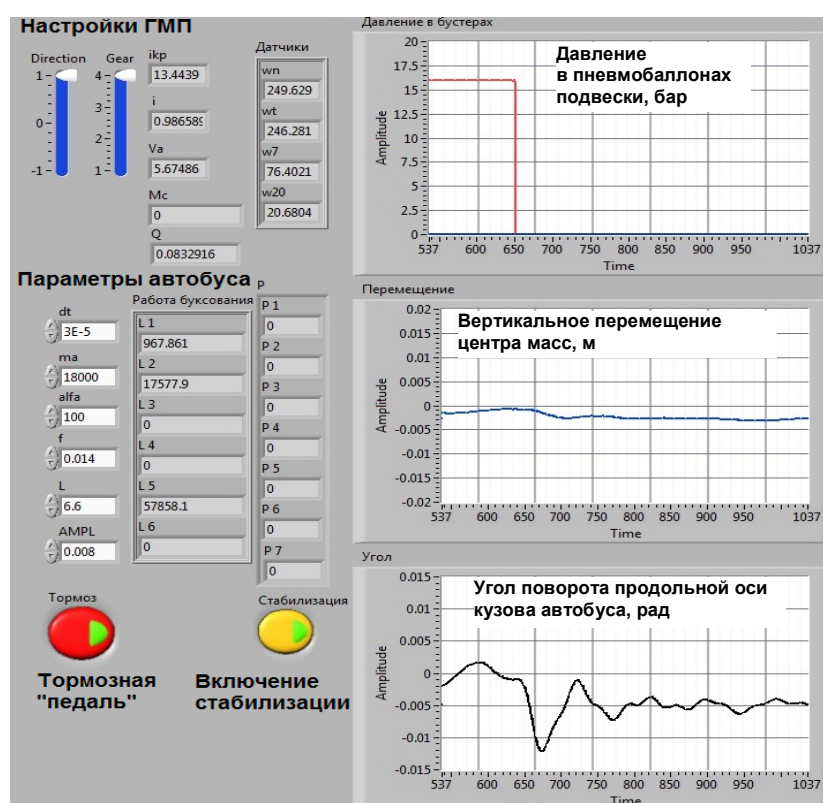


Рис. 5. Вид основной панели HOST-компьютера с визуализацией полученных данных испытаний при торможении автобуса со скоростью 20 км/ч до окончания угловых колебаний кузова автобуса на дороге с параметром $IRI = 0,008$ мм/м.

Торможение со стабилизацией по вертикальной скорости

Fig. 5. View of main HOST-computer panel with visualization of the obtained test data while putting a brake on a bus with the speed of 20 km/h up to completion of angular oscillations of bus body on the road with the parameter $IRI = 0,008$ mm/m.

Braking with stabilization according to vertical speed

Усредненные оценки влияния системы автоматической стабилизации положения кузова на величину расхода топлива и время разгона при трогании автобуса массой 18 т и разгоне в автоматическом режиме трансмиссии до фиксированной скорости 20 км/ч представлены в табл. 2.

Таблица 2

Вид стабилизации	Гидротрансформатор не блокирован	
	Расход топлива при разгоне, л	Максимальное время разгона до 20 км/ч, с
$IRI = 0,00370$ мм/м		
Без стабилизации	0,08160	18,7
По скорости ω_y	0,07780	17,7
По скорости v_z	0,08140	19,5
$IRI = 0,00800$ мм/м		
Без стабилизации	0,08154	18,7
По скорости ω_y	0,08132	18,7
По скорости v_z	0,08157	18,8

Становится понятным, что для режимов трогания и разгона автобуса регулирование по параметру угла отклонения продольной оси предпочтительнее, чем по параметру перемещения центра масс автобуса. Кроме того, стабилизация по линейной скорости перемещения центра масс либо по угловой скорости поворота продольной оси более целесообразна для быстрого действия и качества стабилизации колебаний кузова туристического автобуса.

При анализе табл. 2 очевидно, что система стабилизации по угловой скорости поворота кузова автобуса может улучшать динамику переключений и снижать расход топлива. При этом разница заметно существеннее, если качество дорожного полотна более высокое.

При торможении автобуса система стабилизации также проявляет свои положительные качества. Испытания показали, что при торможении автобуса без системы стабилизации кузова длительность колебаний продольной оси до затухания составляет 0,50 с; с системой стабилизации по вертикальной скорости центра масс автобуса 0,25 с, с системой стабилизации по угловой скорости продольной оси автобуса 0,15 с. Данный факт весьма существен для мобильных строительных и дорожных машин, изготавливающих дорожные одежды и покрытия

(катки, грейдеры, погрузчики, планировщики).

ВЫВОДЫ

1. Разработан способ повышения эксплуатационных показателей автобуса путем интегрированного управления подвеской и трансмиссией, в основу которого положена комплексная математическая модель, включающая автоматическую трансмиссию, систему подвески, модуль генерации случайных дорожных неровностей, систему автоматической стабилизации кузова. Проведенные исследования показали адекватность способа и его пригодность для корректировки элементов систем шасси.

2. Разработан и испытан полунатурный лабораторный стенд, включающий контроллер, селектор автоматической коробки передач, штатные органы управления, физический имитатор приводного двигателя, пропорциональный клапан регулирования давления рабочей среды в пневматических баллонах задней оси. Физические компоненты стенда объединены единой интегрирующей с вышеназванной комплексной моделью шасси туристического автобуса с регулируемой жесткостью пневматических элементов подвески. Проведенные исследования показали работоспособность стенда, созданного на базе интегрирующей платформы сбора, управления и обработки данных. Последнее является наиболее значимым моментом для коррекции, диагностирования и безопасной адаптации подобных управляющих систем.

3. Установлено, что при трогании и разгоне колесной мобильной машины предпочтительной и эффективной является автоматическая стабилизация по угловой скорости поворота продольной оси автомобиля в вертикальной плоскости. Показано, что предложенный алгоритм и система стабилизации по угловой скорости поворота продольной оси кузова позволяют улучшать динамику автобуса при переключениях передач и снижать расход топлива. При торможении применение системы автоматической стабилизации кузова позволяет уменьшить время колебательного процесса более чем в два раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурьян, Ю. А. Управление угловыми колебаниями автотранспортных средств / Ю. А. Бурьян, В. Н. Сорокин // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 6. С. 36–40.
2. Active Suspension System of One-Wheel Car Models Using the Sliding Mode Control with VSS Observer // T. Yoshimura [et al.] // International Journal of Vehicle Autonomous System. 2002. Vol. 1, No 1. P. 133–152.
3. Нас, А. Improvements in Vehicle Handling // A. Нас, М. О. Bodie // International Journal of Vehicle Autonomous System. 2002. Vol. 1, No 1. P. 83–109.
4. Математическая модель автоматической трансмиссии в структуре испытательного комплекса / В. В. Михайлов [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. 2012. № 2 (19). С. 22–28.
5. Михайлов, В. В. Исследование процесса поворота мобильной машины на неровной дороге с помощью плоской комплексной модели / В. В. Михайлов // Механика машин, механизмов и материалов. 2013. № 3 (24). С. 20–27.
6. Михайлов, В. В. Комплексная система отладки и диагностирования алгоритмов систем автоматического управления гидромеханическими трансмиссиями / В. В. Михайлов, А. Г. Снитков // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. Минск: ОИМ НАН Беларуси. 2012. Вып. 1. С. 316–319.
7. Михайлов, В. В. Формирование колебательных воздействий и расчет нагрузок в контакте колес автомобиля с неровной поверхностью дороги / В. В. Михайлов, М. Г. Солодка // Механика машин, механизмов и материалов. 2010. № 4 (13). С. 18–23.
8. Guclu, R. Neural Network Control of Non-Linear Full Vehicle Model Vibrations [Electronic resource] / R. Guclu, K. Gulez // Vibration Control. Croatia: Sciyo, 2010. Mode of access: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/11900.pdf>. Date of access: 15 September 2015.
9. Автомобили: конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть / Д. М. Ломако [и др.]; под ред. А. И. Гришкевича. Минск: Вышэйш. шк. 1987. 200 с.
10. Михайлов, В. В. Математическая идентификация электромагнитного клапана с пропорциональным управлением / В. В. Михайлов // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2013. Вып. 2. С. 136.
11. Михайлов, В. В. Математическое моделирование в изучении переходных процессов и нагруженности элементов гидроусилителя руля с роторным распределителем / В. В. Михайлов, Е. Я. Строк // Наука и техника. 2013. № 1. С. 18–23.
12. Ляхов, С. В. Метод экспресс-диагностики пилотной части пропорционального электромагнитного клапана / С. В. Ляхов, А. Г. Снитков, В. В. Михайлов // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2014. Вып. 3. С. 132–138.

REFERENCES

1. Burian Yu. A., Sorokin V. N. (2007) *Control Over Angular Oscillations of Vehicles. Mekhatronika, Avtomatizatsia, Upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], (6), 36–40 (in Russian).
2. Yoshimura T., Matumura S., Kurimoto M., Hino J. (2002) Active Suspension System of One-Wheel Car Models Using the Sliding Mode Control with VSS Observer. *International Journal of Vehicle Autonomous System*, 1 (1), 133–152. DOI: 10.1504/IJVAS.2002.001809.
3. Нас А., Bodie M. O. (2002) Improvements in Vehicle Handling. *International Journal of Vehicle Autonomous System*, 1 (1), 83–109. DOI: 10.1504/IJVAS.2002.001807.
4. Mikhailau V. V., Basalaev V. N., Snitkov A. G., Sorochan V. M. (2012) Mathematical Model of Automatic Transmission in the Structure of Test Complex. *Mekhanika Mashin, Mekhanizmov i Materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 2 (19), 22–28 (in Russian).
5. Mikhailau V. V. (2013) Investigations on Mobile Machine Turning on Uneven Road with the Help of Plane Complex Model. *Mekhanika Mashin, Mekhanizmov i Materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 3 (24), 20–27 (in Russian).
6. Mikhailau V. V., Snitkov A. G. (2012) Complex System for Debugging and Diagnostics of Algorithms for Automatic Control Systems of Hydro-Mechanical Transmissions. *Aktualnye Voprosy Mashinovedeniia. Sb. Nauch. Tr.* [Actual Problems in Machine Science. Collection of Research Papers]. Minsk: Joint Institute of Mechanical Engineering, National Academy of Sciences of Belarus, Part 1, 316–319 (in Russian).
7. Mikhailau V. V., Solodkaya M. G. (2010) Formation of Oscillation Impact and Calculation of Loads in the Contact Zone of Vehicle Wheels with Uneven Road Surface. *Mekhanika Mashin, Mekhanizmov i Materialov* [Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials], 4 (13), 18–23 (in Russian).
8. Guclu R., Gulez K. (2010) Neural Network Control of Non-Linear Full Vehicle Model Vibrations. *Vibration Control*. Sciyo, Croatia. Available at: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/11900.pdf>. (Accessed 15 September 2015).
9. Lomako D. M., Avtushko V. P., Belenkii Iu. Iu., Beliaev V. M., Kapustin V. V., Meliuk N. F., Moliboshko L. A. (1987) *Automobiles: Design, Design Engineering and Calculation. Steering System and Running Gear*. Minsk, Vesheyskaya Shkola. 200 p. (in Russian).
10. Mikhailau V. V. (2013) Mathematical Identification of Solenoid-Operated Valve with Proportional Control. *Aktualnye Voprosy Mashinovedeniia. Sb. Nauch. Tr.* [Actual Problems in Machine Science. Collection of Research Papers]. Minsk: Joint Institute of Mechanical Engineering, National Academy of Sciences of Belarus, Part 2, 136 (in Russian).
11. Mikhailau V. V., Strok E. Ya. (2013) Mathematical Simulation for Studying Transitional Processes and Loading of Elements of Hydraulic Power Steering with Rotor Distributor. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], (1), 18–23 (in Russian).
12. Liakhov S. V., Snitkov A. G., Mikhailau V. V. (2014) Instant Diagnosis Method for Pilot Part of Proportional Solenoid-Operated Valve. *Aktualnye Voprosy Mashinovedeniia. Sb. Nauch. Tr.* [Actual Problems in Machine Science. Collection of Research Papers]. Minsk: Joint Institute of Mechanical Engineering, National Academy of Sciences of Belarus, Part 3, 132–138 (in Russian).

Поступила 16.02.2015

Подписана в печать 03.04.2015

Опубликована онлайн 22.01.2016

Received: 16.02.2015

Accepted: 03.04.2015

Published online: 22.01.2016