

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАВНОСТИ ХОДА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С УПРАВЛЯЕМОЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКОЙ

Шевчук В.П., Шеховцов В.В., Ляшенко М.В., Скакунов В.Н., Гугучкин Д.А.,  
Уразов Р.Р., Лесных В.О.

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, e-mail: tslmv@vstu.ru*

В статье описана экспериментальная установка, созданная для исследования плавности хода транспортных средств с управляемой пневматической подвеской, приведены данные о рациональном выборе упругой и диссипативной характеристик, описаны алгоритмы и элементы мехатроники системы поддрессирования. Установка представляет собой 4-х опорную модель транспортного средства с независимой пневматической управляемой подвеской, установленную на рельсы синусоидального профиля, которые имитируют неровности дорожного покрытия. Подвеска состоит из рычагов, передающих нагрузки от дороги через пневмоэлементы на остова установки, выполняя роль демпфирующего и упругого элемента. Управление осуществляется за счет шагового клапана, реализующего режимы частичного дросселирования при сообщении основной пневматической камеры с дополнительной. Роль привода клапана выполняет шаговый двигатель, который управляется микропроцессорным блоком управления. В процессе движения модели транспортного средства по синусоидальному профилю происходит деформация пневматических элементов системы поддрессирования и раскачивание остова модели.

**Ключевые слова:** пневматическая подвеска, модель, алгоритм

## EXPERIMENTAL UNIT FOR RESEARCH OF RIDING COMFORT OF A VEHICLE WITH CONTROLLABLE PNEUMATIC SUSPENSION

Shevchuk V.P., Shekhovtsov V.V., Lyashenko M.V., Skakunov V.N., Guguchkin D.A.,  
Urazov R.R., Lesnykh V.O.

*Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: tslmv@vstu.ru*

The paper describes the experimental unit built to research riding comfort of vehicles with controllable pneumatic suspension. Data about rational choice of elastic and dissipative characteristics are presented. Also algorithms and mechatronic elements of suspension system are described. The unit represents 4-foot model of vehicle with independent pneumatic controllable suspension. The model is placed on the sine profile rails which simulate road irregularities. Suspension consists of levers which transfer loadings from road to the unit frame due pneumatic elements. These levers perform the function of damping and elastic element. Control is implemented by means of stepper valve that realizes modes of partial throttling when main pneumatic chamber connecting to additional. Stepper motor controlled by microprocessor-based control unit is drive for the valve. While vehicle moves at the sine profile pneumatic elements of suspension systems deform and model frame sways. To identify instant dynamic parameters of all suspension foots and whole model, control unit reads date of accelerations and frame roll angles from accelerometers and gyroscopes located at model center of gravity and also data from gyroscopes located at longitudinal suspension levers. Data obtained from control unit transfer to personal computer due debug board. The computer depending on obtained data and control algorithm generates control signals for stepper valves. Data from frame gyroscopes and suspension levers provides defining of its' deviation angles relative to horizon at every moment of time. Thus position, displacement and suspension deformation could be calculated.

**Keywords:** air suspension, a model, an algorithm

В последние годы при конструировании автотранспортных средств (АТС) всё больше внимания уделяется активной безопасности. Во всём мире отмечается тенденция роста удельной мощности двигателя, в связи с этим возрастает динамика и средняя скорость движения автомобиля. При этом повышаются требования к подвескам, которые должны обеспечивать хорошую плавность хода, управляемость и устойчивость в широком диапазоне дорожных условий. Такие требования могут выполнять управляемые системы поддрессирования, что в свою очередь влечет потребность к изучению их характеристик и режимов работы.

В Волгоградском государственном техническом университете (ВолГТУ) на кафедре АТС ведутся исследования пнев-

матических систем поддрессирования транспортных средств [1, 2, 3, 7]. В рамках этого исследования была разработана математическая модель управления пневматической подвеской транспортного средства. Для проверки адекватности математической модели и определения упруго-диссипативных характеристик пневматической подвески была создана экспериментальная установка (см. рис. 1).

Экспериментальная установка представляет собой 4-опорную модель транспортного средства с независимой пневматической управляемой подвеской, установленную на рельсы синусоидального профиля, которые имитируют неровности дорожного покрытия. Подвеска состоит из рычагов передающих нагрузки от дороги

через пневмоэлементы на остов установки выполняя роль демпфирующего и упругого элемента. Управление осуществляется за счет шагового клапана реализующего режимы частичного дросселирования при

сообщении основной пневматической камеры с дополнительной. Роль привода клапана выполняет шаговый двигатель, который управляется микропроцессорным блоком управления (БУ).

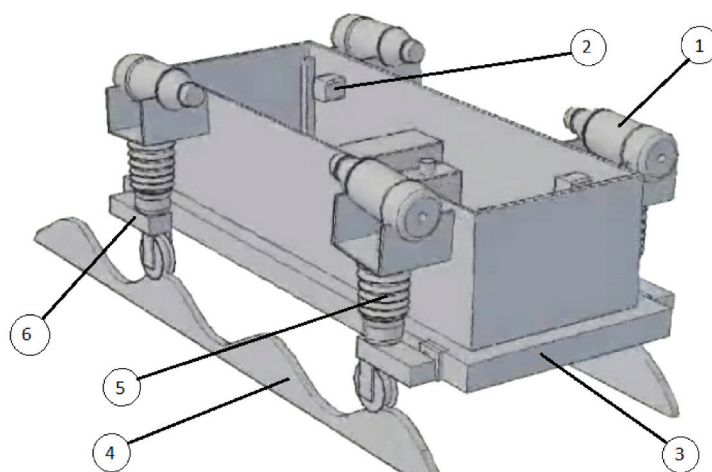


Рис. 1. Экспериментальная установка:

1 – дополнительный объем, 2 – шаговый клапан, 3 – остов, 4 – профиль дороги, 5 – основной объем, 6 – рычаги

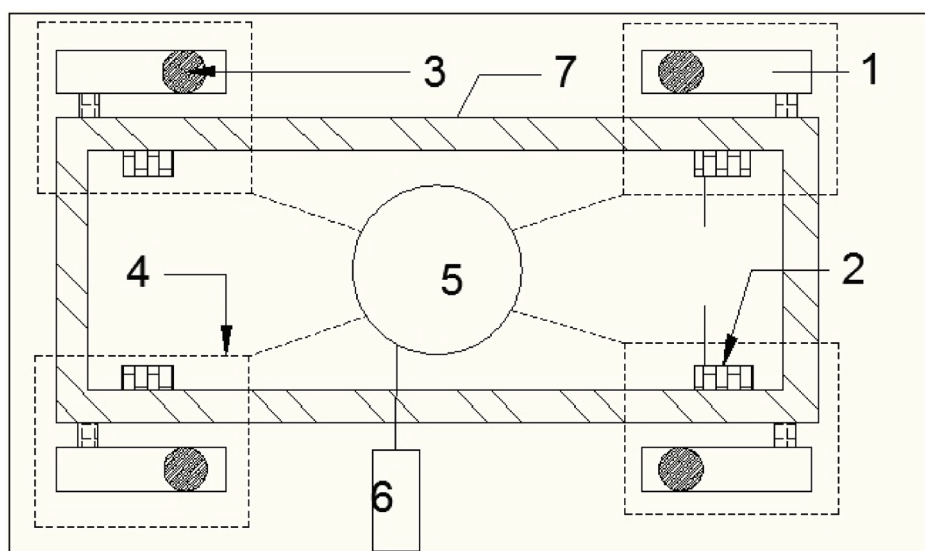


Рис. 2. Схема размещения элементов мехатроники:

1 – Рычаг подвески, 2 – шаговый клапан, 3 – гироскоп, 4 – БУ с драйвером шагового двигателя, шаговым двигателем, датчиком положения, 5 – отладочная плата с трехкомпонентным акселерометром и гироскопом, 6 – ПК

В процессе движения модели транспортного средства по синусоидальному профилю происходит деформация пневматических элементов системы подвески и раскачивание остова модели. С целью определения мгновенных динамических параметров всех опор подвески и остова модели в целом БУ считывает с акселерометров и гироскопов, находящихся

в центре масс остова данные об ускорениях и углах его крена и показания гироскопов, расположенных на продольных рычагах подвески. Полученные данные с БУ через отладочную плату передаются на ПК, который, в зависимости от полученных данных и управляющего алгоритма, вырабатывает управляющие сигналы для шаговых клапанов. Показания гироскопов осто-

ва и рычагов подвески дают возможность определять в любой момент времени углы их отклонения относительно горизонта, а,

следовательно, и вычислять положение, перемещение и деформацию элементов подвески.

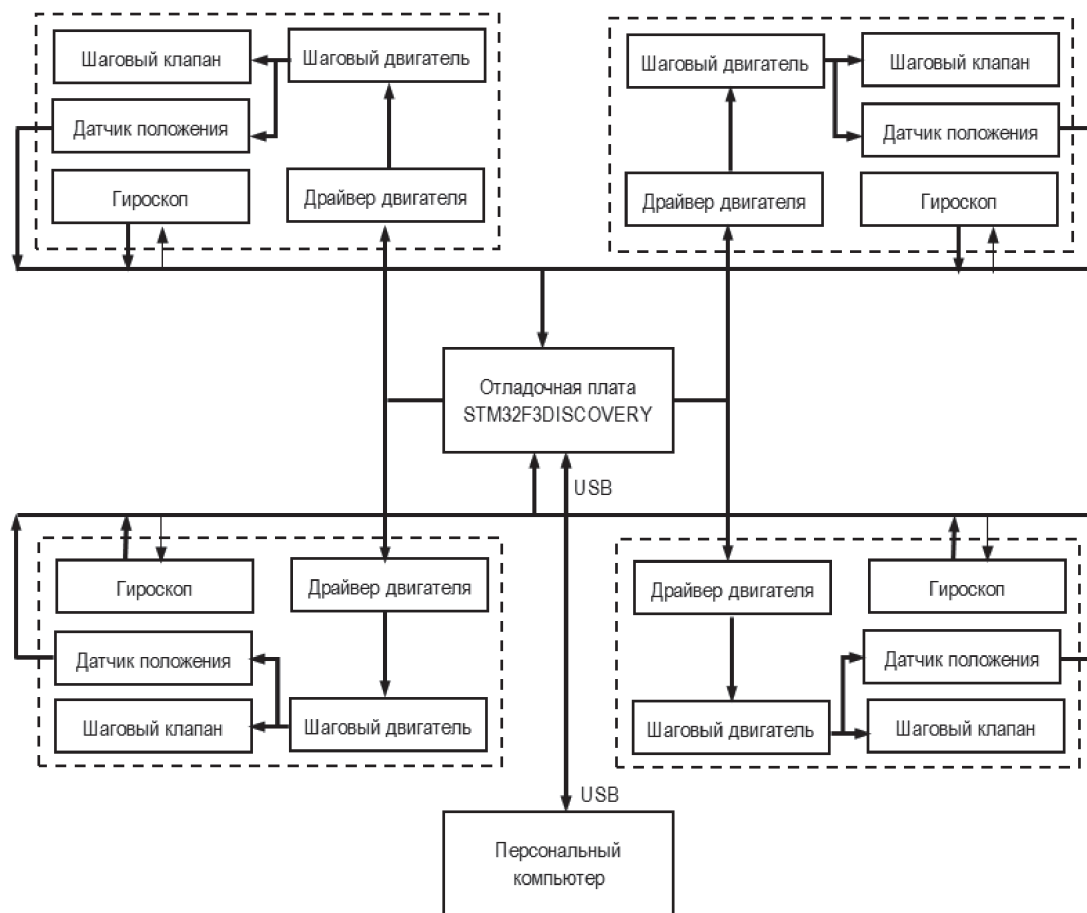


Рис. 3. Структурная схема микропроцессорной системы управления

На рис. 3 показана структурная схема распределенной системы управления, построенная на основе отладочной платы STM32F3DISCOVERY, и состоит из следующих компонентов.

Отладочная плата STM32F3DISCOVERY на 32-разрядном микроконтроллере STM32F303VCT6 с памятью на 256 КБ Flash, 48 КБ RAM, рабочей частотой до 72 МГц и встроенными на плате инерциальными датчиками: 3-осевым гироскопом L3GD20, 3D-цифровым линейным акселерометром и цифровым магнитометром LSM303DLHC, дополненных коммуникационными интерфейсами и 87 линиями портов ввода/вывода.

Четыре программно-управляемых блока контроля и регулирования жесткостью подвески. На рис. 3 они выделены пунктирными линиями. Каждый блок включает: драйвер двигателя – для формирования ШИМ сигнала управления шаговым двигателем [8] (мостовой усилитель VN3SP30); шаговый двигатель (биполярный двигатель типа SM200-0.22-1-02), управляющий шаговым клапаном; шаговый клапан, регулирующий жесткость пневматической подвески; датчик положения, представленный потенциометром, реализующим обратную связь с микропроцессорной системой; гироскоп (МЭМС-датчик L3G4200D ST) для определения динамических параметров пневматической подвески.

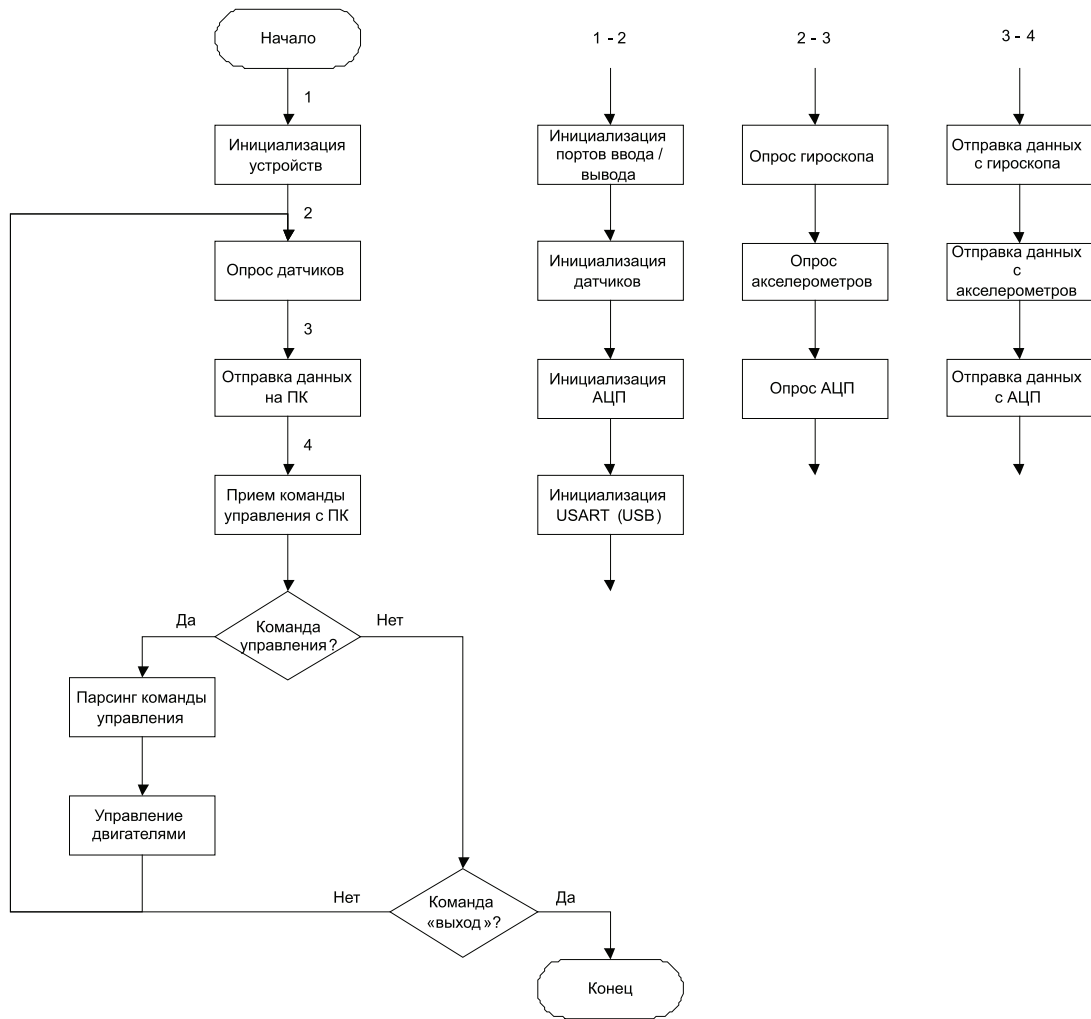


Рис. 4. Блок-схема алгоритма работы программы

Отладочная плата располагается в центре масс установки, это позволяет считывать угол отклонения всей платформы с гироскопа, расположенного на отладочной плате. БУ располагаются по углам платформы (рис. 2). Связь системы управления с персональным компьютером (ПК) осуществляется по USB-порту, через который передается и напряжение питания бортовой системы.

Работа системы начинается с инициализации всех портов для управления внешними устройствами (драйвера шаговых двигателей), датчиков, АЦП и интерфейса связи с ПК (рис. 4). После инициализации система переходит в режим постоянного опроса датчиков и АЦП и отправки собранной информации на ПК. При поступлении с ПК команды управления двигателями в системе (в отладочной плате) генерируется запрос прерывания и система переходит к разбору пришедшей команды.

Для бортовой системы определено два типа команд: команда управления двигателями и системная команда.

Команда управления двигателями представлена следующим форматом:

<Номер двигателя><Угол поворота>.

Системная команда «Выход» вызывает процедуру завершения опроса датчиков и выхода встроенного АЦП, принимающего сигналы обратной связи от датчиков положения, отправки данных на ПК и обработки ошибок.

Для отображения информации, представленной в виде команд оператора и данных от датчиков бортовой системы, при исследовании различных алгоритмов управления пневматической подвеской [4, 5, 6] разработана интерфейсная пользовательская программа (рис. 5).

Окно программы содержит информационные блоки отображения данных гироскопов всех опор подвески, об углах

поворота шаговых клапанов, значениях отклонения бортового гироскопа и акселерометра (в центре окна) и блоков коммуникационной информации.

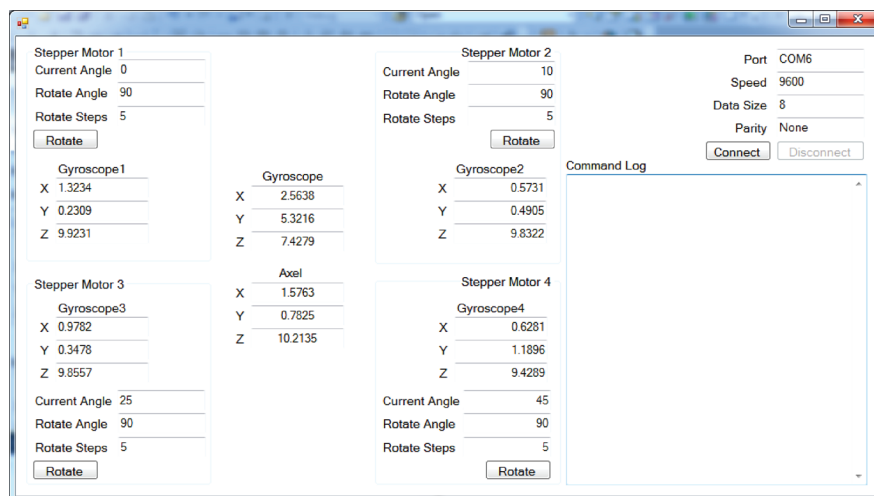


Рис. 5. Внешний вид окна программы для отображения текущего состояния системы и управления двигателями

Программа позволяет отображать информацию о состоянии каждого БУ двигателями, а именно: показания каждой оси гироскопа и текущее положение шагового клапана. Управление определенным шаговым двигателем реализуется путем установки угла поворота и нажатия соответствующей кнопки «Rotate».

Представленная экспериментальная установка позволяет разрабатывать и проверять алгоритмы управления пневматическими системами поддрессирования АТС.

#### Список литературы

1. Ляшенко М.В., Методы оптимизационного синтеза систем поддрессирования и элементов ходовых систем гусеничных сельскохозяйственных тракторах, адаптированных к условиям эксплуатации, диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Волгоград, 2003
2. Ляшенко М.В., Синяев Д.Ю., Кузнецов А.Ю., Маюнов А.Б., Вопросы применения адаптивных систем поддрессирования на гусеничных сельскохозяйственных тракторах, Известия Волгоградского государственного технического университета. 2007. Т. 8. № 2. С. 21-24.
3. Победин А.В., Ляшенко М.В., Кузнецов А.Ю., Адаптивная система поддрессирования, Известия Волгоградского

государственного технического университета. 2004. № 3. С. 74-76.

4. Подзоров А.В., Горобцов А.С., Ляшенко М.В., Прытков В.Н., Исследование управляемой системы поддрессирования посредством пространственной математической модели, Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 10. № 3. С. 67-73.

5. Подзоров, А.В. The optimal control of the multidimensional system at stochastic excitation / А.В. Подзоров, А.С. Горобцов, М.В. Ляшенко // Journal of KONES. Powertrain and Transport (Poland). – 2009. – Vol. 16, № 1. – С. 411-418. - Англ.

6. Подзоров, А.В. Анализ эффективности полуактивной подвески транспортного средства / А.В. Подзоров, М.В. Ляшенко, А.С. Горобцов // XV региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (Волгоград, 9-12 ноября 2010 г.) : тез. докл. / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2011. – С. 67-69.

7. Черкашина Е.А., Ляшенко М.В., Валенцев М.С., Алгоритм изменения клиренса гидropневматической подвески специального транспортного средства, Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 10. № 3. С. 26-29.

8. Электронные системы транспортных средств: учеб. пособие. Доп. УМО вузов РФ по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов / М.В. Ляшенко, А.В. Победин, О.Д. Косов, В.П. Шевчук, В.В. Шеховцов, А.Е. Бабушкин; ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – 115 с.