

Ю.В. МАКАРЕНКО, аспирант, НТУ «ХПИ»;
В.Н. БАЛЕВ, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»;
В.Г. МАСЛИЕВ, д-р техн. наук, НТУ «ХПИ»

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Наведено результати дослідження якості керування положенням кузова відносно рами візка з використанням регулятора положення кузова по висоті на базі мікропроцесора у транспортного засобу, який обладнано пневматичним ресорним підвішуванням.

Results over of research of quality of management position of basket are brought in relation to the frame of light cart with the use of regulator of position of basket on a height on the base of microprocessor at a transport vehicle, which is equipped by a pneumatic spring hanging.

Рост скоростей движения пассажирских поездов выдвигает на первый план проблему повышения комфорта для пассажиров и уменьшения динамического воздействия на путевую структуру.

Одним из путей решения этой проблемы является применение рессорного подвешивания на основе пневматических рессор (ПР). Опыт эксплуатации значительного количества транспортных средств на пневматическом рессорном подвешивании показывает, что один из основных элементов – регулятор положения кузова (РПК), который отдельные авторы называют высоторегулирующий клапан, по стабильности характеристик не соответствует современному техническому уровню, так как требует затрат на систематическое проведение регулировочных работ [1].

Повысить стабильность характеристик РПК можно путем исключения, как трущихся пар, так и подгорающих электрических контактов и применения бесконтактных РПК [2].

Цель статьи состоит в освещении результатов исследования системы пневмоподвешивания, у которой применен РПК с использованием индуктивного бесконтактного датчика и AVR микроконтроллера Atmega 8L фирмы Atmel с необходимым программным обеспечением и электроуправляемых клапанов.

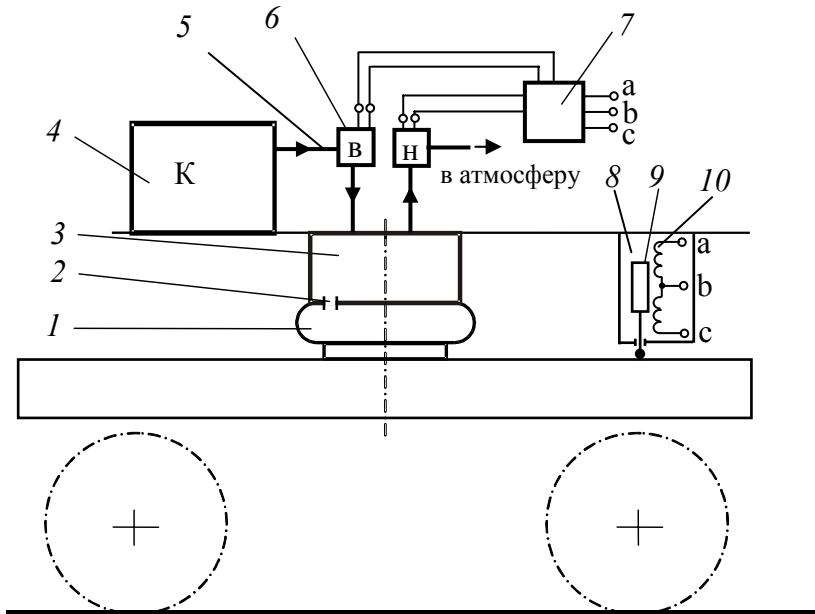
Транспортное средство как правило содержит кузов, который опирается на пару тележек через пневматические рессоры, рис.1 На одной из тележек ПР часто объединяют воздушным трубопроводом, что позволяет реализовать так называемую трехточечную систему рессорного подвешивания. Такая система в силу ее статической определенности имеет преимущество перед

четырёхточечной системой, поскольку обеспечивает равномерное распределение нагрузки от веса кузова по тележкам и по всем колесам.

При этом работа ПР вместе с РПК всех трех точек подвешивания взаимно независимы, что дает дополнительные преимущества этой системе подвешивания перед четырехточечной, например при возникновении аварийных ситуаций, связанных с разрывом одной из оболочек или с выходом из строя одного из РПК, что может привести к обезгруживанию диагонально-противоположной точки подвешивания [3].

В связи с этим нами рассматривается трехточечная система подвешивания транспортного средства и исследуется совместная работа ПР и РПК одной точки подвешивания, а работа других точек идентична.

Внешние возмущающие факторы передаются на систему от контактов колес с рельсами, а внутренние – управляющие, связаны с подачей или выпуском сжатого воздуха из ПР.



1 – пневморессора, 2 – дроссель, 3 – дополнительный резервуар, 4 – компрессор, 5 – соединительные трубопроводы, 6 – электропневматические вентили: в – впускной; н – выпускной, 7 – микроконтроллер, 8 – индуктивный датчик, 9 – якорь, 10 – катушки.

Рисунок 1 – Схема пневматического рессорного подвешивания

Рассмотрим систему управления положением кузова, как объект регулирования. Решается задача автоматической стабилизации положения

кузова по вертикальной координате при постоянном управлении им на пути следования транспортного экипажа.

Принимаем следующие допущения: перемещения кузова на пневморессорах центральной ступени подвешивания происходят только по вертикали, перемещениями на буксовой ступени подвешивания, имеющей значительно большую жесткость, – пренебрегаем; управляющие импульсы, передаваемые на электропневматические вентили и сами вентили обладают релейными характеристиками. В системе реализовано широтно-импульсное управление. Управляющие импульсы имеют постоянную амплитуду, а их скважность устанавливается микроконтроллером по алгоритму в зависимости от величины входного сигнала, поступающего от индуктивного датчика.

Уравнение колебаний части массы кузова, приходящейся на пневморессору, согласно принципа Д’Аламбера

$$m \cdot \ddot{z} + K \frac{G}{f_d} \dot{z} + \frac{n(P_n + 1)F^2}{V_n + V_{др}} z = P_g + P_y, \quad (1)$$

где m – часть массы кузова, приведенная к одной пневморессоре, K – коэффициент пропорциональности, G – масса воздуха, которая перетекла через дроссельное отверстие в течение полупериода колебаний; f_d – площадь проходного сечения дроссельного отверстия; F – эффективная площадь пневморессоры; V_n , $V_{др}$ – объем пневморессоры и дополнительного резервуара – соответственно; n – показатель политропы, P_g и P_y – составляющие векторов возмущений и управления по оси z .

В этом уравнении коэффициенты при скорости \dot{z} и перемещении кузова z являются переменными величинами, определяемыми газотермодинамическими процессами, имеющими место при перетекании воздуха между пневморессорой и дополнительным резервуаром [3].

Таким образом, дифференциальное уравнение (1) которое описывает работу системы – нелинейное, следовательно, объект регулирования является также нелинейным.

Индуктивный датчик 8 преобразует перемещение кузова относительно тележки в пропорциональное ему изменение электрического тока и напряжения на катушках 10, т.е. передает сигнал на микроконтроллер 7, который формирует управляющий импульс для одного или другого из вентилях 6, если напряжение на одной из катушек 10 превысит заданное, т.е. система обладает зоной нечувствительности.

$$\text{если } \begin{cases} U_{вх} \geq 1,2В, \text{ то } U_{упр} = U_{вх} - 0,9В; \\ U_{вх} < 1,2В, \text{ то } U_{упр} = 0, \end{cases}$$

Здесь зона нечувствительности будет равна $1,2 - 0,9 = 0,3$ В. Ее величину можно задавать через интерфейс микроконтроллера, внося соответствующие изменения в алгоритм его работы, например при изменении условий окружающей среды.

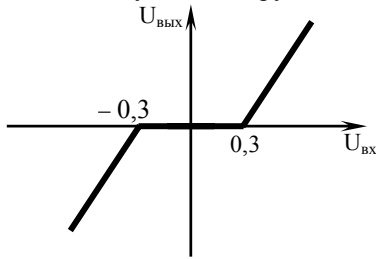


Рисунок 2 – Характеристика системы регулирования с зоной нечувствительности

Система реализует пропорциональный закон регулирования. Зона нечувствительности задается для каждого транспортного средства в отдельности. На рис. 2 показана характеристика системы регулирования пневматического рессорного подвешивания. Наклон линейных участков характеристики задается в зависимости от производительности компрессора, примененного на транспортном средстве.

В сравнении с релейной, такая характеристика обеспечивает снижение влияния воздействий на объект, обусловленных системой регулирования при малых отклонениях его от номинального положения.

На рис. 3 показана структурная схема системы регулирования.

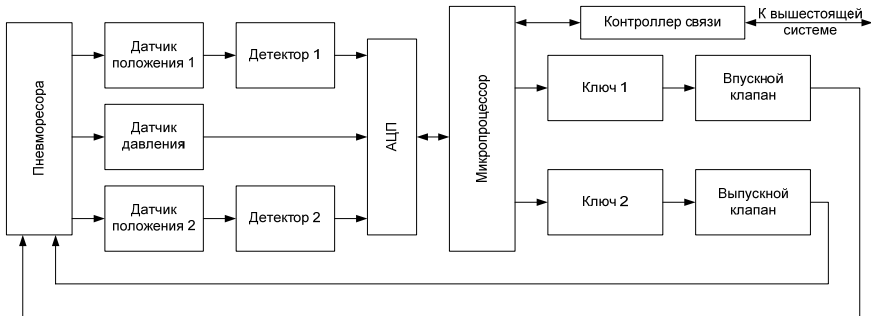


Рисунок 3 – Структурная схема системы регулирования

Проведем анализ качества регулирования прямым методом по переходным процессам, полученным в результате интегрирования дифференциального уравнения (1) при различных параметрах и режимах работы системы с внешним возмущающим воздействием в виде ступенчатой функции. Возмущение от регулирующих воздействий моделировалось импульсной функцией.

На рис. 4 приведены примеры переходных процессов.

Анализируя переходную функцию на рис. 4 а), вычислим величину перерегулирования

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y_{(\infty)}}{y_{(\infty)}} \cdot 100\% = \frac{0,0118 - 0,01}{0,01} \cdot 100 = 18\%,$$

т.е. является достаточным, так как величина перерегулирования не превышает рекомендуемых 30 % для аналогичных систем.

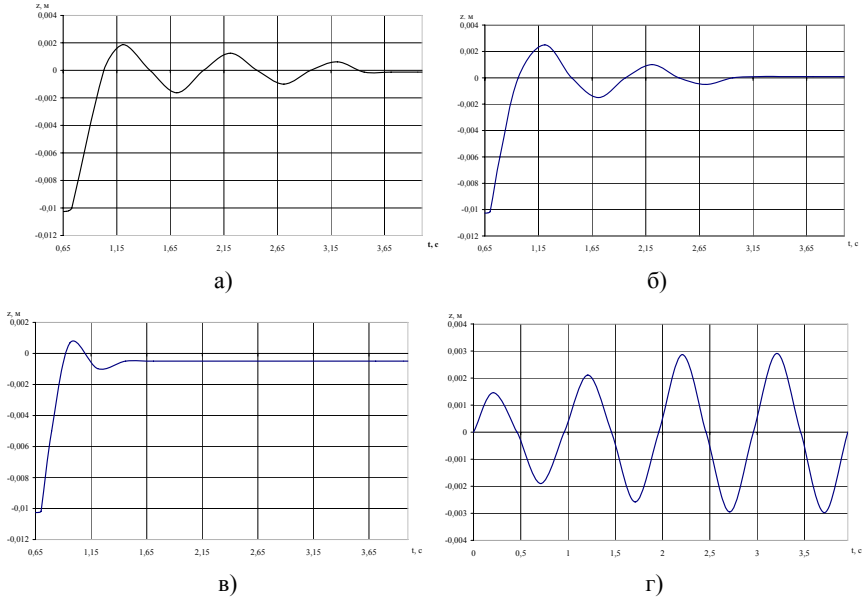


Рисунок 4 – Колебания массы на пневморессоре

Длительность переходного процесса является одной из оценок быстродействия системы и определяется как время от момента подачи на вход возмущения до момента, после которого имеет место неравенство

$$|y(t) - y_{(\infty)}| \leq \Delta,$$

где Δ – допустимая ошибка регулирования в нашем примере принята 0,3 В.

Длительность переходного процесса приведенного на рис. 4 а) составляет 3 с, время запаздывания здесь составляет 0,25 с, затухание колебательного процесса, как логарифм отношения предыдущей к последующей, составляет 0,69, а количество колебаний в интервале времени переходного процесса при выбранных нами параметрах системы равно 2.

На рис. 4 б) и в) показаны переходные процессы исследуемой системы «пневморессора-регулятор» при увеличении затухания вплоть до критического, при котором система становится аperiodической.

Таким образом, изменяя параметры системы можно выбрать рациональную длительность переходного процесса. Постоянная времени (время разгона) по кривым разгона на графиках равна примерно $T=0,7$ с.

В связи с применением цифрового элемента – микроконтроллера, необходимо изучить влияние дискретного характера его управляющих выходных сигналов на динамические свойства системы.

На рис. 4 г) приведен график колебательного процесса при действии импульсов от подачи сжатого воздуха в пневморессору с частотой следования равной частоте собственных колебаний массы на пневморессоре. При этом наблюдается явление автоколебаний в системе, когда их амплитуды несколько возрастают и стабилизируются на уровне не более 3 мм при минимальном затухании. Уйти от автоколебаний можно путем введения программу соответствующих логических операторов исключающих появление импульсов этой частоты.

Обобщая приведенные в статье результаты, можно отметить, что применение в качестве регулятора положения кузова дискретного цифрового устройства в виде микроконтроллера с программным обеспечением и индуктивным датчиком позволило исключить пары трения и подгорающие электрические контакты, что благоприятно скажется на повышении надежности системы, а необходимая регулировка будет заключаться в изменении исходных данных алгоритма.

Полученные результаты проверены в условиях стенда и показали удовлетворительную сходимость с погрешностью в пределах 15%, а анализ переходных процессов показал, что система устойчива при действии внешних и управляющих воздействий.

Список литературы: 1. Применение мехатроники при создании регуляторов пневматического рессорного подвешивания на транспорте / *Макаренко Ю.В., Балеv В.Н., Маслиев В.Г.* Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – № 38. – 72 – 75 с. 2. Пат. 52237 на корис. мод., Україна МПК В61F 5/00 Пристрій для керування рівнем підресореної частини транспортного засобу / *Нестеренко В.І., Басов Г.Г., Міценко К.П., Антонов С.В., Якунін Д.І., Макаренко Ю.В., Маслиев В.Г.*; заявник і патентовласник Нац. Техн. Ун-т «Харків-й політехн. ін-т». – № u 2009 11113; Заявл. 02.11.2009; Опубл. 25.08.2010, Бюл. №16. 3. Пневматическое рессорное подвешивание тепловозов / *Куценко С.М., Елбаев Э.П., Кирпичников В.Г., Маслиев В.Г., Рубан А.Н.* / Под ред. С.М.Куценко. – Харьков: Вища школа, 1978. – 97 с.

Поступила в редколлегию 02.05.2011