

# **ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ**

УДК 625.282:625.032

**В.Г. МАСЛИЕВ**, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;

**Ю.В. МАКАРЕНКО**, НТУ «ХПИ»;

**А.О. МАСЛИЕВ**, студент НТУ «ХПИ»

## **ДИНАМИКА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА, ОБОРУДОВАННОГО ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ РЕСОРАМИ, ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ**

Приведены результаты исследования влияния на динамику транспортного средства силовых импульсов, которые возникают при пневматическом рессорном подвешивании во время процесса управления положением кузова по высоте, если регулятор положения кузова разработан с использованием компьютерных технологий.

Наведено результати дослідження впливу на динаміку транспортного засобу силових імпульсів, що виникають при пневматичному ресорному підвішуванні під час процесу керування положенням кузова по висоті, якщо регулятор положення кузова розроблено з використанням комп'ютерних технологій.

Results over of research of influence on dynamics of a vehicle of power impulses which arise at pneumatic spring suspension during managerial process by body position on height if the regulator of position of a body is developed with application computer technologies.

Проблема повышения комфорта пассажиров транспортных средств приобретает особую актуальность в связи с ростом скоростей движения и сложностью достаточно быстрого переоборудования путевых структур под такое движение по причинам экономического характера.

Более реальным путем решения проблемы является применение на транспортных средствах рессорного подвешивания на основе пневматических рессор (ПР) [1]. Такое подвешивание обладает существенно большей энергоемкостью, что позволяет реализовать необходимую величину статического прогиба при ограниченных габаритах. Этим обеспечивается получение собственной частоты колебаний кузова около 1 Гц. При такой, наиболее комфортной для человека частоте колебаний, повышается производительность труда, снижается утомляемость.

Одним из элементов рессорного подвешивания на основе пневматических рессор является регулятор положения кузова (РПК), который в процессе регулирования осуществляет импульсную подачу или выпуск сжатого воздуха из пневморессор, что попутно создает возмущающие воздействия. Они добавляются к силовым воздействиям от путевой структуры и ухудшают динамические показатели транспортного средства.

Цель статьи состоит в освещении результатов исследования динамики транспортного средства, оборудованного ПР, при импульсных возмущениях, возникающих при работе РПК.

В качестве РПК в подвешивании применен индуктивный бесконтактный датчик и AVR микроконтроллер Atmega 8L фирмы Atmel с разработанным программным обеспечением [2].

На рис. 1 схематически изображено пневматическое рессорное подвешивание и регулятор положения кузова.

Между кузовом 1 и неподрессорной частью 2 транспортного средства установлена ПР 3 и РПК 4.

При изменении расстояния между кузовом 1 и неподрессоренной частью 2, например, вследствие снижения давления сжатого воздуха в пневморессоре 3, сердечник 5, жестко соединенный с кузовом 1, перемещается вниз до тех пор, пока якорь 9 замкнет магнитную цепь, образованную стержнями 38 и 39 и сердечником 5. Магнитный поток, создаваемый катушкой 6, существенно возрастает, в результате чего в обмотке 7 возникнет ЭДС индукции, пропорциональная изменению расстояния между кузовом 1 и неподрессоренной частью 2 (сигнал управления), которая создаст в цепи ток, поступающий через клемму 14 на коммутатор 18 к аналого-цифровому преобразователю 17, который произведет преобразование этой ЭДС из аналогового в дискретный (цифровой) тип. После этого сигнал поступает на микроконтроллер 19, где происходит усреднение результатов заданного программой количества измерений расстояния между кузовом 1 и неподрессоренной частью 2 и принятие программой решения о подаче сжатого воздуха в пневморессору 3. Это решение будет положительным, если результаты измерений дали усредненное значение величины сигнала большее нуля. В этом случае от микроконтроллера 19 поступит управляющий ток на базу транзистора 21, который при этом начнет пропускать ток от источника 37, выпрямленный диодом 23 на тяговую катушку 25, которая своим полем воздействует на якорь 30, который, перемещаясь вправо, переместит клапан 31. В результате этого открывается доступ сжатому воздуху из полости 32 в полость 33 корпуса 29 электропневматического вентиля и далее по трубопроводу 34 в пневморессору 3.

По мере повышения давления в пневморессоре 3 расстояние между кузовом 1 и необрессоренными частями увеличивается, сердечник 5 перемещается вверх относительно якоря 9. Длительность цикла подачи сжатого воздуха в пневморессору 3 задается алгоритмом, по которому работает микроконтроллер. После окончания этого цикла подачи производится новое измерение расстояния между кузовом 1 и неподрессоренной частью 2 и принятие следующего решения об очередной подаче сжатого воздуха в пневморессору 3. Если результаты измерений показали, что отклонение находится в заданных пределах, т.е. магнитная

цепь, образованная стержнями 38 и 39 и якорем 9, разомкнута, ЭДС и ток в обмотке 7 обратились в ноль, а сигнал от микроконтроллера 19 поступающий на базу транзистора 21 также станет равным нулю. Цепь тяговой катушки 25 разомкнется, сердечник 30 вернется в исходное положение и закроет клапан 31, разобрав полости 32 и 33, а подача воздуха в пневморессору 3 прекращается. Надлежащий выбор длительности цикла подачи сжатого воздуха в пневморессору 3, задаваемая алгоритмом, позволяет получить заданное время задержки срабатывания клапана 27, что предотвращает срабатывание устройства, например, при колебаниях кузова 1 на пневморессоре 3.

При увеличении расстояния между кузовом 1 и необрессоренными частями 2 сердечник 5 перемещается вверх до замыкания якорем 9 магнитной цепи, образованной стержнями 39 и 40. При этом магнитный поток возрастает и в катушке 8 индуцируется ЭДС, пропорциональная изменению расстояния между кузовом 1 и неподрессоренной частью 2 (сигнал), которая создаст в цепи ток, поступающий через клемму 15 на коммутатор 18 к аналого-цифровому преобразователю 17, который произведет преобразование этой ЭДС из аналогового в дискретный (цифровой) тип. После этого преобразования сигнал поступает на микроконтроллер 19, где происходит усреднение результатов заданного количества измерений расстояния между кузовом 1 и неподрессоренной частью 2 и принятие решения о выпуске сжатого воздуха из пневморессоры 3. Это решение будет положительным, если результаты измерений дали усредненное значение величины сигнала большее наперед заданной алгоритмом микроконтроллера 19 величины. В этом случае от микроконтроллера 19 поступит управляющий ток на базу транзистора 22, который при этом начнет пропускать ток от источника 37, выпрямленный диодом 24 на тяговую катушку 26, которая своим полем воздействует на ее якорь, который, перемещаясь вправо, перемещает клапан. Вследствие чего полость 35 соединяется с полостью 36 и воздух из пневморессоры 3 по трубопроводу 34, полостям 35 и 36 уходит в атмосферу.

По мере уменьшения давления в пневморессоре 3 расстояние между кузовом 1 и необрессоренными частями 2 уменьшается, сердечник 5 перемещается вниз относительно якоря 9. Длительность цикла выпуска сжатого воздуха из пневморессоры 3 задается алгоритмом, по которому работает микроконтроллер. После окончания этого цикла выпуска производится новое измерение расстояния между кузовом 1 и неподрессоренной частью 2 и принятие следующего решения об очередном выпуске сжатого воздуха из пневморессоры 3. Если результаты измерений показали, что отклонение находится в заданных пределах, т.е. магнитная цепь, образованная стержнями 39 и 40 и якорем 9, разомкнута, ЭДС и ток в обмотке 8 обратились в ноль, а сигнал от микроконтроллера 19 поступающий на базу транзистора 22 также станет равным нулю. Цепь тяговой катушки 26

разомкнется, ее сердечник вернется в исходное положение и закроет клапан разобщающий полости 35 и 36, а выпуск воздуха из пневморессоры 3 в атмосферу прекращается. Надлежащий выбор длительности цикла выпуска сжатого воздуха из пневморессоры 3, задаваемая алгоритмом, позволяет получить необходимое время задержки срабатывания клапана, что предотвращает срабатывание устройства, например, при колебаниях кузова 1 на пневморессоре 3.

Пружина 11 компенсирует перекосы кузова 1 и необрессоренных частей 2, а кожух 41 служит направляющей для стержня 10 с якорем 9 и защищает датчик положения 4 от внешних воздействий.

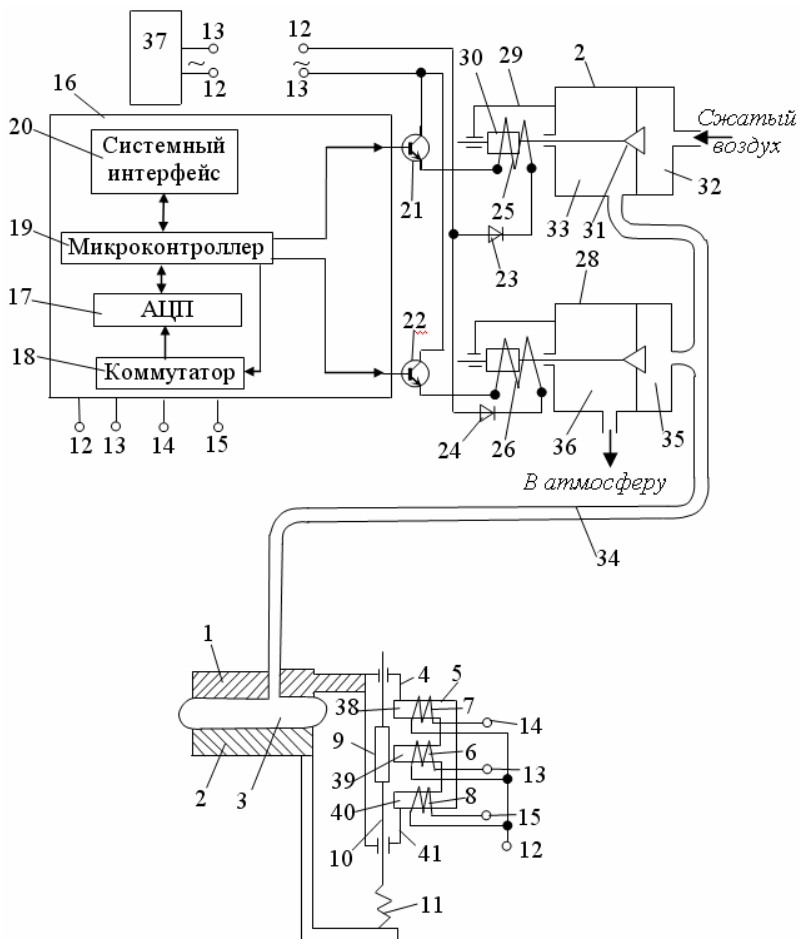


Рисунок 1 – Схема пневматического рессорного подвешивания и регулятора положения кузова

Динамика системы «пневморессора – РПК» исследована в среде MATLAB Simulink при импульсных возмущениях.

Нагрузка на пневморессору увеличивалась практически мгновенно так, что кузов опускался на некоторую величину. При этом через некоторое время РПК подавал порцию воздуха в пневморессору и высота кузова относительно рельсов восстанавливалась. Этот процесс показан на рис. 2. Здесь за положительное принято опускание кузова вниз.

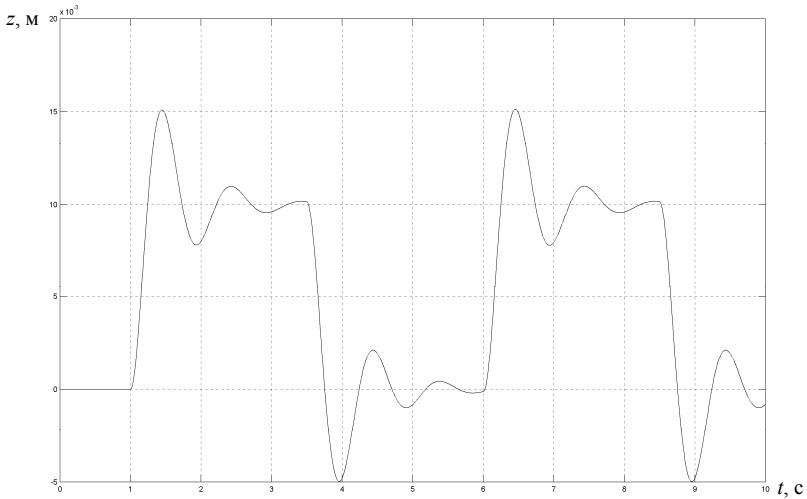


Рисунок 2 – Зависимость изменения высоты кузова относительно плоскости пути при импульсном изменении нагрузки на ПР и подачи сжатого воздуха в ПР от РПК

Как видно из рис. 2, при  $t = 1$  с произошло увеличение нагрузки на кузов, что должно было вызвать изменение высоты пневморессоры на величину  $z = 0,01$  м. Однако фактическое изменение ее высоты составило  $0,016$  м, что на  $0,006$  м превышает расчетное значение. Возникли собственные колебания.

При  $t = 3,5$  с сработал РПК на режим подачи воздуха в ПР и ее высота восстановилась до исходной ( $z = 0$  м) при  $t = 6$  с. При этом переходной процесс системы регулирования продолжался около  $2,5$  с.

Перерегулирование составило  $0,005$  м, колебательный процесс затухает достаточно быстро.

Если выбрать для транспортного средства следующие параметры системы: давление воздуха в пневморессоре  $5,45 \cdot 10^5$  Па, эффективная площадь пневморессоры  $0,3$  м<sup>2</sup>, показатель политропы сжатия воздуха  $1,35$ , общий объем воздуха в пневмосистеме  $0,1$  м<sup>3</sup>, статическая нагрузка

приходящаяся на пневморессору 137340 Н, то эквивалентный статический прогиб ПР составит 0,207 м [3].

При выбранной величине импульса возмущения (0,01 м) и полученном перерегулировании (0,005 м) можно оценить коэффициент вертикальной динамики кузова как отношения суммы этих величин к эквивалентному статическому прогибу

$$K_{дв} = \frac{z_1 + \Delta z}{z_{ст}} = \frac{0,01 + 0,005}{0,207} = 0,07.$$

Полученное значение коэффициента динамики при воздействии на систему заданных регулирующих импульсов значительно меньше допустимого коэффициента динамики, величина которого обычно не должна превышать 0,2.

Таким образом, с помощью MATLAB Simulink – моделировании можно достаточно адекватно отражать физические процессы, происходящие в рассматриваемой системе ПР – РПК. Модель может быть использована при исследовании воздействий импульсов возмущений и другой формы. При выбранных параметрах системы «ПР – РПК» регулирование устойчивое, автоколебаний в системе не наблюдается. Показана возможность производить оценку динамических показателей системы при различных возмущающих факторах.

**Список литературы:** 1. Результаты исследования системы пневматического рессорного подвешивания транспортного средства с микропроцессорным управлением / *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 «ХП». – 2011. – № 18. – 69 – 74 с. 2. Пат. 68457 на корис. мод., Україна МПК В61F 5/00 Пристрій для керування рівнем підресореної частини транспортного засобу при пневматичному рессорному підвішуванні / *Маслиев В.Г., Макаренко Ю.В., Балеv В.М., Маслиев А.О.*; заявник і патентовласник Нац. Техн. Ун-т «Харків-й політехн. ін-т». – № и 2011 10824; Заявл. 09.09.2011; Опубл. 26.03.2012, Бюл. №6. 3. Л. Брюха. Пневматическое подвешивание и тележки. Ежемесячный бюллетень МАЖК, 1969.- № 7 – 10.

*Поступила в редакцию 12.04.2012*