

# СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПОДВЕСОК СИДЕНИЙ

## METHODS FOR CONTROLLING THE ELASTIC DAMPING CHARACTERISTICS OF PNEUMATIC SEAT SUSPENSIONS

**М.В. ЛЯШЕНКО**, д.т.н.  
**В.В. ШЕХОВЦОВ**, д.т.н.  
**П.В. ПОТАПОВ**, к.т.н.  
**А.И. ИСКАЛИЕВ**

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (ВолГТУ), Волгоград, Россия, ts@vstu.ru, asamat-iskaliyev@mail.ru

**M.V. LYASHENKO**, Dsc in Engineering  
**V.V. SHEKHOVTSOV**, Dsc in Engineering  
**P.V. POTAPOV**, PhD in Engineering  
**A.I. ISKALIYEV**

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, ts@vstu.ru, asamat-iskaliyev@mail.ru

Пневматическая подвеска сиденья относится к важнейшим, а в некоторых ситуациях и к ключевым составляющим системы виброзащиты человека–оператора транспортного средства. На современном этапе научно-технической деятельности большинства разработчиков огромный акцент делается на управляемые системы поддресоривания сидений, как на самые перспективные. В данной статье выполнен анализ способов управления упругодемпфирующей характеристикой пневматической подвески сиденья транспортного средства. В ходе анализа рассмотрено десять различных и достаточно известных способов изменения формы и параметров упругодемпфирующих характеристик за счет электропневматических клапанов, дросселей, двигателей, дополнительных полостей, вспомогательных механизмов и иных исполнительных элементов, проанализированы достоинства, границы применения и недостатки каждого способа. На основе результатов проведенной аналитической процедуры, а также известных в научно-технической литературе рекомендаций по повышению виброзащитных свойств систем поддресоривания авторами предложен и разработан новый способ управления упругодемпфирующей характеристикой, реализуемый в предлагаемом техническом решении пневматической подвески сиденья транспортного средства. Способ отличается тем, что реализует циклический управляемый обмен рабочим телом между полостями пневматического упругого элемента и дополнительного объема ресивера на ходах сжатия и отбоя, формируя практически симметричную упругодемпфирующую характеристику и частичную рекуперацию колебательной энергии пневматическим приводом, представленным в виде пневмодвигателя ротационного типа. К тому же способ не требует наличия нерегулируемого гидравлического амортизатора, обладая, тем не менее, преимуществом в виде улучшенных виброзащитных свойств пневматической подвески сиденья транспортного средства в широком диапазоне изменения эксплуатационных воздействий.

**Ключевые слова:** способ управления, упругодемпфирующая характеристика, подвеска сиденья, пневматическая рессора, электропневматический клапан, демпфирующее устройство, частота колебаний.

**Для цитирования:** Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Потапов П.В., Искалиев А.И. Способы управления упругодемпфирующими характеристиками пневматических подвесок сидений // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 2. С. 27–33. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-2-27-33.

The pneumatic seat suspension is one of the most important, and in some situations, one of the key components of the vibration protection system for the human operator of the vehicle. At the present stage of scientific and technical activities of most developers, great emphasis is placed on controlled seat suspension systems, as the most promising systems. This article analyzes the methods of controlling the elastic damping characteristics of the air suspension of a vehicle seat. Ten different and fairly well-known methods of changing the shape and parameters of elastic damping characteristics due to electro-pneumatic valves, throttles, motors, additional cavities, auxiliary mechanisms and other actuators were considered, the advantages, application limits and disadvantages of each method were analyzed. Based on the results of the performed analytical procedure, as well as the recommendations known in the scientific and technical literature on improving the vibration-protective properties of suspension systems, the authors proposed and developed a new method for controlling the elastic-damping characteristic, which is implemented in the proposed technical solution for the air suspension of a vehicle seat. The method differs in the thing that it implements a cyclic controlled exchange of the working fluid between the cavities of the pneumatic elastic element and the additional volume of the receiver on the compression and rebound strokes, forming an almost symmetric elastic damping characteristic, and partial recuperation of vibrational energy by a pneumatic drive, presented in the form of a rotary type pneumatic motor. In addition, the method does not require an unregulated hydraulic shock absorber, while still having the advantage of improved vibration-proof properties of the air suspension of a vehicle seat over a wide range of operating influences.

**Keywords:** control method, elastic damping characteristic, seat suspension, air spring, electro-pneumatic valve, damping device, vibration frequency.

**Cite as:** Lyashenko M.V., Shekhovtsov V.V., Potapov P.V., Iskaliyev A.I. Methods for controlling the elastic damping characteristics of pneumatic seat suspensions. Traktory i sel'khoz mashiny. 2021. No 2, pp. 27–33 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-2-27-33.

## Введение

Одной из важнейших задач, которые приходится решать конструкторам на стадии проектирования автотракторной техники, является задача защиты рабочего места оператора от повышенного шума и вибраций. Подвеска рамы и кабины в определенной степени снижают амплитуды динамических воздействий от неровностей почвенного фона, у гусеничных машин – также от перемотки звенчатой гусеницы. Однако в большинстве случаев окончательную защиту оператора от вибронагрузок должна обеспечивать подвеска сиденья. Конструкторами автотракторной техники предложено множество технических решений подвесок сидений, однако как на российских, так и на ряде зарубежных машин задачу виброзащиты оператора нельзя считать разрешенной в полной мере и улучшение его виброзащитности является актуальной задачей.

## Цель исследований

Анализ способов управления упругодемпфирующей характеристикой пневматической подвески сиденья транспортного средства и описание созданного авторами, с учетом анализа, нового способа, обеспечивающего улучшение виброзащитных свойств подвески.

## Материалы и методы

Анализ существующих способов управления упругодемпфирующими характеристиками пневматических подвесок сидений показывает, что их можно подразделить на основе того, каким образом они формируют характеристику.

1. *Ручное изменение массы рабочего тела в рессоре.* Данный способ [1] используется во многих пассивных подвесках, характеристики которых регулируются оператором вручную. Он отличается простотой и надежностью. Подключение по необходимости к системе питания для наполнения полости рессоры или сброс рабочего тела в атмосферу осуществляется при помощи клапанных и распределительных пневмомеханических устройств. Способ обеспечивает возможность регулировки в определенных пределах положения тела оператора и жесткости подвески. При регулировке форма характеристики обычно не изменяется.

2. *Коммутация полостей рессоры и дополнительных объемов через дроссели с изменяемой геометрией или клапанные отверстия*

*с несимметричной пропускной способностью.* Для реализации воздушного демпфирования [2, 3], дополнительного к традиционному гидравлическому демпфированию амортизатором, или вместо него, задействуют ресиверы или камеры с дополнительными объемами рабочего тела. Коммутация между полостями через дроссельные или клапанные устройства при непрерывном или дискретном перетекании рабочего тела способствует поглощению и последующему рассеиванию энергии в цикле колебаний поддрессоренного объекта. Саморегулирование параметров и формы характеристики подвески осуществляется алгоритмом очередности срабатывания клапанов и дросселей. Технические решения пневматических подвесок сидений, в которых используется такой способ управления характеристикой, обладают высокой функциональной эффективностью и относительной простотой конструкции.

3. *Автоматическая коммутация полостей рессоры и дополнительных объемов через управляемые электропневматические клапаны.* Коммутацию полостей при этом в определенные моменты времени обеспечивают электропневматические клапаны по сигналам от электронного блока управления. В конструкции таких регулируемых подвесок сидений [4, 5] входят датчики, считывающие информацию об амплитуде перемещений, скорости или частоте колебаний оператора и передающие ее блоку управления с частотой 250 Гц. В качестве блока управления используется контроллер, формирующий управляющие сигналы по заложенным в него алгоритмам. В зависимости от типа и частоты возмущения, воздействующего на поддрессориваемый объект, формируется соответствующая ситуации упругодемпфирующая характеристика подвески сиденья. При этом жесткость подвески возможно регулировать автоматически. Данный способ отличается возможностью выбора широкого спектра различных по форме и параметрам упругодемпфирующих характеристик.

4. *Автоматическое изменение массы рабочего тела в рессоре путем управляемой коммутации полости рессоры с магистралью, связывающей постоянно работающий компрессор с атмосферой.* Версии подвесок с подобным активным способом управления характеристикой [6, 7] максимально эффективны в частотном диапазоне возмущений

0,8...5 Гц, когда необходимо создать противоположно направленную движению подрессоренного тела силу упругого сопротивления. Низкая эффективность на более высоких частотах возмущений обусловлена ограниченными функциональными возможностями исполнительных устройств. К тому же требуется постоянное питание для электрического компрессора и, соответственно, дополнительные затраты энергии.

5. *Автоматическое подключение пневматической системы к работе подвески при достижении увеличенных ходов сжатия и отбоя.* Для данного способа управления упругодемпфирующей характеристикой подвески сиденья [8] характерно наличие определенных условий для включения в процесс работы. В отличие от предыдущего способа, основанного на активном принципе действия, в данном случае пневматический упругий элемент выступает только как исполнительный силовой привод для создания дополнительного упругого сопротивления при достижении подвеской сиденья максимально больших ходов сжатия и отбоя. В качестве основного и в то же время поддерживающего статическое положение оператора упругого элемента используется металлическая пружина либо торсион. При этом достигается увеличение жесткости на крайних участках характеристики, что способствует уменьшению чрезмерного динамического хода и риска пробоя подвески.

6. *Изменение мгновенного сопротивления подвески путем управления противофазным возмущением усилием линейного двигателя.* Для осуществления данного способа [9] в качестве исполнительного силового привода выступает линейный двигатель, генерирующий противофазные возмущениям силы. Специальный датчик непрерывно определяет мгновенные значения параметров внешних воздействий и передает их на микроконтроллер блока управления, в котором происходит обработка входящих импульсов и формируются по заложенным алгоритмам оптимальные исполнительные сигналы с частотой 1000 Гц. В соответствии с сигналами подается питание на встроенный линейный двигатель мощностью до 3,5 кВт. Таким образом, подвеска активно противодействует ударам, вертикальным колебаниям и вибрациям в широком диапазоне частот, создавая противоположно направленное усилие, достаточное для переме-

щения водителей весом до 160 кг. Пневматический упругий элемент автоматически настраивается для позиционирования и поддержки веса водителя, тем самым постоянно сводя к минимуму потребление электроэнергии в статике. Одним из главных недостатков этого способа управления характеристикой является высокая стоимость и сложность исполнения силового привода в виде линейного двигателя.

7. *Изменение демпфирования подвески путем управления состоянием жидкости* в магнитореологических амортизаторах. Способ находит применение в подвесках сидений с полуактивным управлением [10], где внешняя электрическая энергия требуется только для изменения вязкости магнитореологической жидкости и, как следствие, регулирования демпфирующего усилия амортизатора в определенные моменты времени в зависимости от внешних возмущений. Датчик передает контроллеру блока управления информацию о смене условий возмущений в режиме реального времени с частотой 500 Гц. Далее следует выбор подходящего алгоритма реакции системы на возмущения и передача электрического импульса на встроенную в магнитореологический демпфер электромагнитную катушку. Под действием магнитного поля рабочая жидкость амортизатора меняет свою вязкость. Происходит адаптация значения диссипативных свойств подвески под конкретное возмущение. Такие подвески сидений перспективны, так как обладают компактностью, относительно простой структурой и принципом работы. Единственно сложным узлом является магнитореологический демпфер, который в целом определяет работоспособность, эффективность и стоимость всей системы.

8. *Изменение демпфирования подвески путем управления параметрами маятниковых, динамических и иных инерционных гасителей колебаний.* Данный способ [11] потенциально позволяет создать противофазные движению подрессоренного тела усилия и, тем самым, амплитудные «провалы», но только в определенных узких резонансных полосах частот возбуждения системы. Проблемным является мгновенный точный подбор и настройка ключевых параметров устройств гашения колебаний.

9. *Изменение демпфирования подвески путем управления «сухим трением».* Функционирование рассматриваемого способа обеспе-

чивается, например, посредством релейного закона управления в режиме «включить – выключить». Получается так называемое прерывистое демпфирование [12], реализуемое, чаще всего, с помощью фрикционных элементов, равные в одни моменты времени какому-то значению силы неупругого сопротивления, а в другие – нулю, и тогда в то время, когда демпфирование колебаний не нужно, оно не задействуется. Проблемным является сложность устройства такой системы и поддержание стабильности настроек, обеспечивающих «прерывистое демпфирование».

10. *Изменение геометрии рычагов, а также точек расположения креплений упругодемпфирующих устройств в направляющем механизме подвески сиденья.* В данном способе делается акцент лишь на изменение мгновенной приведенной упругодемпфирующей характеристики подвески сиденья [13], зависящей от расположения и углов наклона упругодемпфирующих устройств по горизонтали и вертикали. Форма характеристики при этом мало изменяется. Преимуществом способа является отсутствие дополнительных исполнительных механизмов.

## Результаты и обсуждение

Согласно результатам исследований, описанных в работе [14], для повышения виброзащитных свойств подвески необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

– добиваться отключения демпфирующих устройств в областях неэффективной работы, в которых направление действия неупругого сопротивления совпадает с вектором движения поддресоренной массы (начало каждой области соответствует моменту изменения направления движения поддресоренной массы, а конец – моменту изменения направления деформации подвески);

– добиваться отключения демпфирующих устройств в резонансной зоне колебаний при кинематическом возмущении;

– разрабатывать демпфирующие устройства с характеристиками более высокого порядка;

– разрабатывать демпфирующие устройства с рекуперацией энергии в цикле колебаний, обеспечивающие в областях неэффективной работы изменение действия силы неупругого сопротивления на противоположное направление.

Авторами с учетом этих рекомендаций предложен новый способ управления упругодемпфирующей характеристикой пневматической подвески сиденья.

На рис. 1 представлена общая схема устройства, реализующего предлагаемый способ управления [15].

Подвеска сиденья транспортного средства (рис. 1) содержит пневмобаллон 1, выполненный в виде пневматического цилиндра двухстороннего действия. По бокам сиденья расположены направляющие рычаги 2, соединенные шарниром между собой по типу

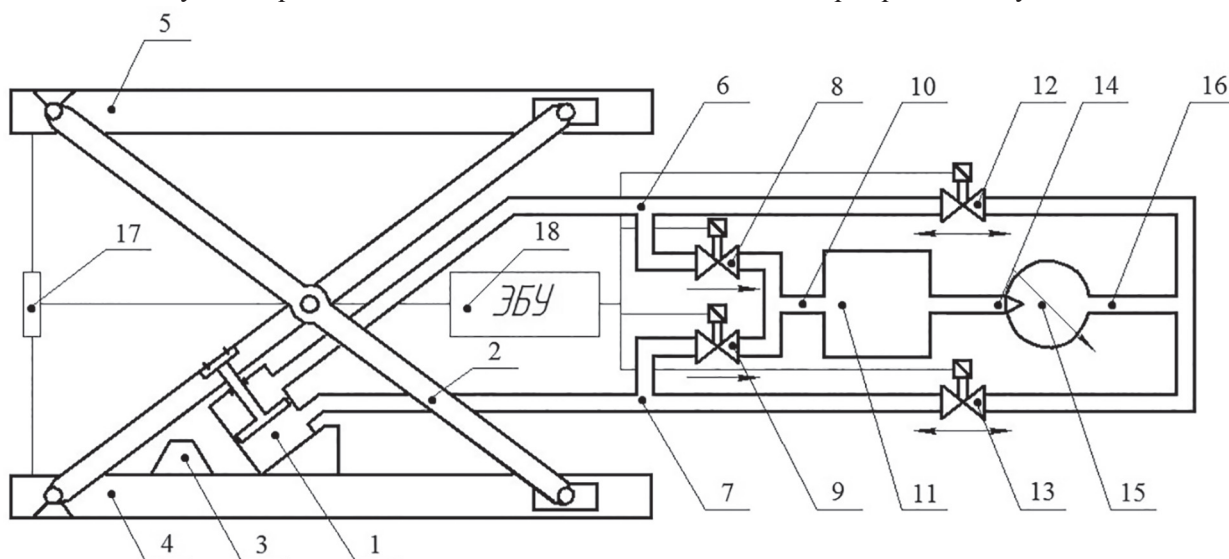


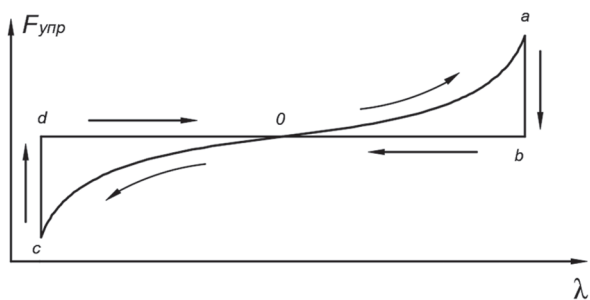
Рис. 1. Схема подвески сиденья, реализующей предлагаемый способ управления упругодемпфирующей характеристикой

Fig. 1. Seat suspension scheme that implements the proposed method for controlling the elastic damping characteristic



ножниц, и резиновые буферы 3. Одни концы направляющих рычагов 2 связаны с нижним основанием 4 и с верхним основанием 5 шарнирно, а другие – с помощью ползунів с возможностью перемещения по специальной направляющей. Резиновые буферы 3 установлены на нижнем основании 4 и служат для ограничения чрезмерного проседания подвески сиденья. Пневмобаллон 1 закреплен одной опорной поверхностью на нижнем основании 4 и второй опорной поверхностью на направляющих рычагах 2. Подпоршневая и надпоршневая полости пневмобаллона 1 соединены пневмомагистралями 6 и 7 через управляемые электропневматические клапаны 8 и 9 и пневмомагистраль 10 с ресивером 11 с дополнительным объемом воздуха. Через управляемые электропневматические клапаны 12 и 13 и пневмомагистраль 16 они связаны с выходом пневмодвигателя 15 рекуператора и между собой. Ресивер 11 соединен с входом пневмодвигателя 15 рекуператора пневмомагистралью 14. Между нижним 4 и верхним 5 основаниями установлен электронный датчик перемещения 17, сигналы которого поступают на вход электронного блока управления 18, управляющего работой клапанов 8, 9, 12 и 13.

На рис. 2 представлена концептуальная упругодемпфирующая характеристика подвески сиденья транспортного средства, получаемая согласно предлагаемому способу управления.



**Рис. 2. Упругодемпфирующая характеристика подвески сиденья, которая формируется при предложенном способе управления**

*Fig. 2. Elastic damping characteristic of the seat suspension, which is formed with the proposed control method*

Управление осуществляется следующим образом. На ходе сжатия подвески при перемещении верхнего основания 5 по направлению к нижнему основанию 4 относительно положения статического равновесия (рис. 2, участок 0–a), равно половине полного хода под-

вески, давление рабочего тела в подпоршневой полости пневмобаллона 1 возрастает вследствие отсутствия сообщения с ресивером 11 и надпоршневой полостью при закрытых клапанах 9 и 13. Тем временем надпоршневая полость при закрытом клапане 8 и открытом клапане 12 сообщается через пневмодвигатель 15 с ресивером 11. Воздух, преодолевая сопротивление пневмодвигателя 15 и приводя его в движение, из-за возникающего перепада давлений перетекает из ресивера 11 в надпоршневую полость пневмобаллона 1.

В конце хода сжатия (рис. 2, участок a–b) при достижении нулевого значения скорости деформации сигнал с датчика 17 обрабатывается блоком управления 18, который формирует управляющее воздействие по открытию клапана 9 и закрытию клапана 12. Рабочее тело перетекает из подпоршневой полости пневмобаллона 1 вследствие избыточного давления в ресивер 11.

В начале хода отбоя при движении верхнего основания 5 по направлению от нижнего основания 4 (рис. 2, участок b–0) клапан 9 закрывается, а клапаны 12 и 13 открываются, что позволяет реализовать сообщение надпоршневой и подпоршневой полости и ведет к выравниванию давлений воздуха между ними.

После достижения половины полного хода подвески верхним основанием 5 на ходе отбоя (рис. 2, участок 0–c) клапан 12 закрывается. Давление воздуха в надпоршневой полости пневмобаллона 1 возрастает вследствие отсутствия сообщения с ресивером 11 и подпоршневой полостью. Подпоршневая полость при открытом клапане 13 сообщается через пневмодвигатель 15 с ресивером 11. Рабочее тело, преодолевая сопротивление пневмодвигателя 15 и приводя его в движение, из-за возникающего перепада давлений перетекает из ресивера 11 в подпоршневую полость пневмобаллона 1.

В конце хода отбоя (рис. 2, участок c–0), когда сигнал датчика 17 подается на вход электронного блока управления 18 при нулевом значении скорости деформации подвески, открывается клапан 8 и закрывается клапан 13. Рабочее тело под действием избыточного давления в надпоршневой полости пневмобаллона 1 перетекает в ресивер 11.

В начале хода сжатия (рис. 2, участок d–0) клапан 8 закрывается, и открываются клапаны 12 и 13. Вплоть до момента достижения верх-

ним основанием 5 половины полного хода подвески надпоршневая и подпоршневая полости сообщены между собой, и давление воздуха в них одинаковое.

Предлагаемый способ управления упругодемпфирующей характеристикой пневматической подвески сиденья транспортного средства обладает следующими достоинствами:

- позволяет реализовать регрессивно-прогрессивный характер изменения характеристики;
- обеспечивает формирование практически симметричной формы изменения характеристики на ходах сжатия и отбоя;

- благодаря наличию пневматического цилиндра двухстороннего действия в качестве исполнительного элемента устройства можно иметь в характеристике участки с квазиулевой жесткостью;

- поглощение энергии колебаний поддрессоренного объекта происходит на участках характеристики, соответствующих концам ходов сжатия и отбоя подвески, где заканчивается область неэффективной работы демпфирующего устройства;

- наличие рекуператора, позволяющего полезно использовать энергию колебаний;

- пневматический привод рекуператора создает свое собственное сопротивление, а не дополнительно способствует движению поддрессоренного тела в областях неэффективной работы демпфирующего устройства;

- привод рекуператора с линейной нагрузочной характеристикой с ростом частоты внешнего кинематического возмущения быстрее запускается и работает более устойчиво, что снижает его сопротивление циклическому перетеканию рабочего тела из одной полости в другую, тем самым повышая виброзащитные свойства подвески, особенно в резонансной зоне колебаний;

- способ не требует наличия в конструкции подвески сиденья нерегулируемого гидравлического амортизатора;

- быстроедействие устройства, реализующего способ, обеспечивается электронной системой управления.

## Выводы

1. Выполнен анализ способов управления характеристикой пневматической подвески сиденья транспортного средства, в ходе которого рассмотрено 10 способов формирования упругодемпфирующих характеристик, проана-

лизированы достоинства и недостатки каждого способа.

2. Предложено техническое решение пневматической подвески сиденья с управляемым обменом рабочим телом на ходах сжатия и отбоя и с частичной рекуперацией колебательной энергии, обладающее улучшенными виброзащитными свойствами в широком диапазоне изменения эксплуатационных воздействий.

## Литература

1. Пневмоподвеска сиденья: удобство и комфорт. 2017. URL: <http://ru.megasos.com/wiki/pnevmoподвеска-сиденья-удобство-и-комфорт>.
2. Кочетов О.С. Исследование нелинейных дроссельных устройств для систем виброизоляции // Научный альманах. Технические науки. 2016. № 2 (16). С. 357–361.
3. Пилипенко В.В., Пилипенко О.В., Запольский Л.Г. Пневматические системы виброзащиты с квазиулевой жесткостью // Техническая механика. 2008. № 2. С. 17–25.
4. Haller Erwin. Device and Method for Suspension of a Vehicle Seat by Means of Additional Volumes: патент 8864145 В2 Соединенные Штаты Америки, МПК В 60 G 17/02, В 60 N 2/52, В 60 N 2/50 / заявитель и патентообладатель Grammer AG. № 12/720527; заяв. 09.03.10; опубл. 21.10.14.
5. Grammer AG. Produktwelten. Commercial Vehicles. Landmaschinen. 2018. URL: <https://www.grammer.com/produktwelten/commercial-vehicles/landmaschinen.html>.
6. Веселов Г.Е., Сеницын А.С. Синтез адаптивного синергетического закона управления активной системой амортизации кресел операторов землеройных машин // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 3 (188). С. 97–110.
7. Maciejewski I. Control system design of active seat suspensions // Journal of Sound and Vibration. 2012. Vol. 331. P. 1291–1309.
8. Поливаев О.И., Юшин А.Ю., Костиков О.М., Родин Е.Н. Активная подвеска сиденья транспортного средства: патент 2363598 Российская Федерация, МПК В 60 N 2/52 / заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени К.Д. Глинки». № 2008118046/11; заявл. 05.05.08; опубл. 10.08.09, Бюл. № 22.
9. Bose Ride. 2019. URL: <https://www.bose.com>.
10. Sears Seating. Инновации. Система снижения вибраций VRS®. 2008. URL: <http://www.searsseating.net/russian/innovation4.htm>.

11. Амельченко Н.П. Улучшение виброзащитных свойств подвески сиденья водителя колесного трактора: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Могилев, 2008. 20 с.
  12. Гальянов И.В., Фоминова О.В. Виброзащитные системы с прерывистым демпфированием // Безопасность жизнедеятельности. 2006. № 4. С. 2–8.
  13. Bostrom Seating. Products. Suspensions. 2018. URL: <https://www.bostromseating.com/en-us/products/suspensions>.
  14. Новиков В.В., Рябов И.М., Чернышов К.В. Виброзащитные свойства подвесок автотранспортных средств: монография; ВолгГТУ. Волгоград: РПК «Политехник», 2009. 339 с.
  15. Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Косенко, В.В. Потопов, П.В. Искалиев А.И., Шведуненко А.А. Способ управления упругодемпфирующей характеристикой подвески сиденья транспортного средства: патент 2726479 Российская Федерация, МПК В 60 N 2/52 / заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ). № 2019103478; заявл. 07.02.19; опублик. 14.07.20, Бюл. № 20.
- ### Reference
1. Pnevmapodveska siden'ya: udobstvo i komfort. 2017. URL: <http://ru.megasos.com/wiki/pnevmapodveska-sideniya-udobstvo-i-komfort>
  2. Kochetov O.S. Research of nonlinear throttle devices for vibration isolation systems. Nauchnyy al'manakh. Tekhnicheskiye nauki. 2016. No 2 (16), pp. 357–361 (In Russ.).
  3. Pilipenko V.V., Pilipenko O.V., Zapol'skiy L.G. Pneumatic vibration protection systems with quasi-zero stiffness. Tekhnicheskaya mekhanika. 2008. No 2, pp. 17–25 (In Russ.).
  4. Pat. 8864145 B2 Soyedinennyye Shtaty Ameriki, MПК В 60 G 17/02, В 60 N 2/52, В 60 N 2/50. Device and Method for Suspension of a Vehicle Seat by Means of Additional Volumes / Erwin Haller; заявитель i patentoobladatel' Grammer AG. No 12/720527; заявл. 09.03.10; опублик. 21.10.14.
  5. Grammer AG. Produktwelten. Commercial Vehicles. Landmaschinen. 2018. URL: <https://www.grammer.com/produktwelten/commercial-vehicles/landmaschinen.html>.
  6. Veselov G.E., Sinitsyn A.S. Synthesis of an adaptive synergistic law of control of the active system of damping of the seats of the operators of earthmoving machines. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki. 2017. No 3 (188), pp. 97–110 (In Russ.).
  7. Maciejewski I. Control system design of active seat suspensions // Journal of Sound and Vibration. 2012. Vol. 331. P. 1291–1309.
  8. Pat. 2363598 Rossiyskaya Federatsiya, MПК В 60 N 2/52. Aktivnaya podveska siden'ya transportnogo sredstva [Active vehicle seat suspension] O.I. Polivayev, A.YU. Yushin, O.M. Kostikov, YE.N. Rodin; заявитель i patentoobladatel' FGOU VPO «Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni K.D. GlinkI». No 2008118046/11; заявл. 05.05.08; опублик. 10.08.09, Byul. No 22.
  9. Bose Ride. 2019. URL: <https://www.bose.com>.
  10. Sears Seating. Innovatsii. Sistema snizheniya vibratsiy VRS®. 2008. URL: <http://www.searsseating.net/russian/innovation4.htm>.
  11. Amel'chenko N.P. Uluchsheniye vibrozashchitnykh svoystv podveski siden'ya voditelya kolesnogo traktora: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Improving the vibration protection properties of the suspension of the driver's seat of a wheeled tractor: Abstract to Dissertation for Degree of PhD in Engineering]. Mogilev, 2008. 20 p.
  12. Gal'yanov I.V., Fominova O.V. Vibration protection systems with intermittent damping. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2006. No 4, pp. 2–8 (In Russ.).
  13. Bostrom Seating. Products. Suspensions. 2018. URL: <https://www.bostromseating.com/en-us/products/suspensions>.
  14. Novikov V.V., Ryabov I.M., Chernyshov K.V. Vibrozashchitnyye svoystva podvesok avtotransportnykh sredstv [Vibration-protective properties of vehicle suspensions]: monografiya; VolGGTU. Volgograd: RPK «PolitekhniK» Publ., 2009. 339 p.
  15. Pat. 2726479 Rossiyskaya Federatsiya, MПК В 60 N 2/52. Sposob upravleniya uprugodemfiruyushchey kharakteristikoy podveski siden'ya transportnogo sredstva [Method for controlling the elastic damping characteristic of the vehicle seat suspension] M.V. Lyashenko, V.V. Shekhovtsov, V.V. Kosenko, P.V. Potapov, A.I. Iskaliyev, A.A. Shvedunenko. Заявитель i patentoobladatel' FGBOU VO «Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universiteT» (VolGGTU). No 2019103478; заявл. 07.02.19; опублик. 14.07.20, Byul. No 20.