



(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2023.09.28

(51) Int. Cl. B60G 17/015 (2006.01)  
B60G 17/018 (2006.01)  
B60G 17/08 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2022.04.07

(54) СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНЕРЦИИ АКТИВНОЙ ПОДВЕСКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВАНИИ ОПОРНОГО УСИЛИЯ КОЛЕСА И УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ

(31) 202110714847.6

(32) 2021.06.26

(33) CN

(86) PCT/CN2022/085567

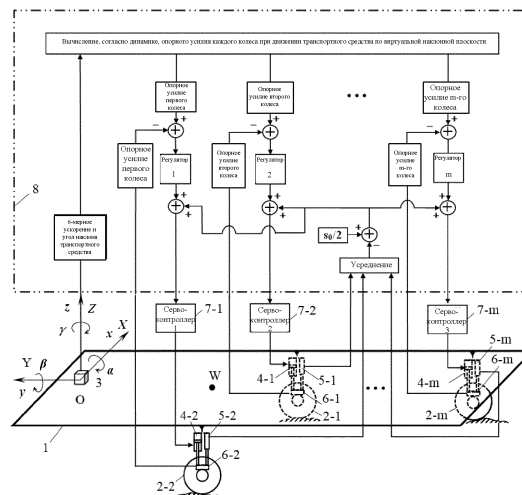
(87) WO 2022/267621 2022.12.29

(71) Заявитель:  
ЯНЬШАНЬ ЮНИВЕРСИТИ (CN)

(72) Изобретатель:  
Чжао Динсюань, Лю Шуан, Гун Миндэ, Чжан Чжусинь, Сунь Чжиго, Ян Бинь (CN)

(74) Представитель:  
Билык А.В., Поликарпов А.В., Соколова М.В., Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатъев А.В., Дмитриев А.В., Бучака С.М., Бельтюкова М.В. (RU)

(57) В данном изобретении раскрыт способ инерциального регулирования и устройство управления активной подвеской транспортного средства на основании опорного усилия каждого колеса, причем способ инерциального управления включает управление во внутреннем контуре и управление во внешнем контуре. Управление во внутреннем контуре обеспечивает вычисление, согласно динамике, теоретического опорного усилия, которое должно выдерживать каждое колесо при движении транспортного средства по виртуальной наклонной плоскости с 6-мерным ускорением, углом тангажа и углом крена, измеренными с помощью инерциального измерительного блока, сравнение теоретического опорного усилия с измеренным опорным усилием каждого колеса и управление раздвижением каждого цилиндра подвески в соответствии с величиной полученной разницы, так что опорное усилие каждого колеса изменяется в соответствии с теоретическим опорным усилием. Управление во внешнем контуре обеспечивает управление каждым цилиндром подвески для получения одинакового раздвижения смещения, так что среднее значение всех ходов цилиндра подвески стремится к медианному значению. Данное изобретение обеспечивает значительное улучшение комфорта вождения и стабильности управления транспортным средством на неровной дорожной поверхности.



**СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНЕРЦИИ АКТИВНОЙ ПОДВЕСКИ  
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВАНИИ ОПОРНОГО УСИЛИЯ  
КОЛЕСА И УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ**

**ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ**

[0001] Данное изобретение относится к способу управления и устройству для управления активной подвеской транспортного средства, в частности к способу регулирования инерции системы активной подвески транспортного средства с помощью управления опорным усилием каждого колеса и к соответствующему устройству управления.

**УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ**

[0002] Система подвески является важной частью ходовой части транспортного средства, и ее рабочие характеристики непосредственно определяют комфорт вождения и устойчивость управления транспортным средством. В большинстве традиционных транспортных средств используется пассивная подвеска, параметры которой рассчитаны согласно конкретным дорожным условиям. После выбора ее трудно заменить, и она не может изменяться при изменении дорожных условий, скорости транспортного средства и т. д., что ограничивает дальнейшее улучшение ходовых характеристик транспортного средства.

[0003] Активная подвеска представляет собой подвеску с компьютерным управлением, разработанную в последние годы. Активная подвеска может автоматически регулировать жесткость и демпфирование подвески или управлять раздвижением подвески в соответствии с изменениями веса транспортного средства, дорожных условий или толчков и вибрации, скорости перемещения, рабочих условий, таких как ускорение, торможение, перемещение, рулевое управление, для соответствия требованиям комфорта вождения и стабильности управления транспортным средством.

[0004] Технология активной подвески в основном предусматривает систему активной подвески и способ управления.

[0005] Система активной подвески содержит устройство, обеспечивающее энергию для активной подвески, и дополнительное устройство, которое может управлять

усилием или перемещением. Согласно разным способам подачи энергии она может быть отнесена к системам с гидравлическим приводом, пневматическим приводом и электрическим приводом. Система подвески с гидравлическим приводом широко используется из-за высокой удельной мощности, удобства компоновки и монтажа. Система подвески с пневматическим приводом также в определенной степени использовалась из-за ее преимуществ, таких как мягкость хода и отсутствие загрязнения окружающей среды.

[0006] Даже для одного и того же устройства активной подвески при использовании разных способов управления обеспечиваются разные эффекты управления. Современные способы управления активной подвеской в основном включают: управление предельным демпфированием, оптимальное управление, предварительное управление, адаптивное управление, управление на основе нечеткой логики, управление с помощью нейронной сети, управление в скользящем режиме, управление устойчивым развитием и т. д.

[0007] Согласно записям независимо от используемого способа управления рабочие параметры транспортного средства в той или иной степени улучшались, однако все еще существуют некоторые проблемы, которые не были полностью решены и среди которых наиболее заметной является сложность в координации контроля комфорта вождения и контроля стабильности управления. Контроль комфорта вождения транспортного средства и контроль стабильности управления – два важных аспекта, которые требуется учитывать при проектировании подвески. Большинство известных результатов исследований основаны на создании различных математических моделей согласно различным требованиям, которые разрабатываются независимо друг от друга, при этом общая производительность транспортного средства рассматривается как сумма производительностей данных подсистем. Или же математическая модель может быть разбита на части, а затем объединена для управления. При создании математической модели проекты управления комфортом вождения и управления стабильностью управления не рассматриваются одновременно. Процесс проектирования сложен, и трудно добиться хорошего эффекта управления.

## СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0008] Для решения явных проблем, существующих в технологии активной подвески транспортного средства, в данном изобретении предложен способ инерциального управления и устройство управления активной подвеской транспортного средства на основании опорного усилия каждого колеса, что, в частности, включает следующие два аспекта.

[0009] В первом аспекте данного изобретения предложен способ инерциального регулирования активной подвески транспортного средства на основании опорного усилия каждого колеса, включающий регулировку опорного усилия каждого колеса и управление раздвижением каждого цилиндра подвески для управления результирующим усилием, действующим на транспортное средство в вертикальном направлении, и соответствующими результирующими крутящими моментами вокруг продольной оси и горизонтальной оси, проходящей через центр масс, так, чтобы они были равны нулю или близки к нулю, так что центр масс транспортного средства перемещается по прямой линии или плавной кривой, и положение транспортного средства остается в целом стабильным.

[0010] Способ инерциального регулирования включает управление во внутреннем контуре управления и управление во внешнем контуре, причем управление во внутреннем контуре используют для управления опорным усилием каждого колеса, а управление во внешнем контуре используют для управления средним значением всех ходов цилиндров подвески, при этом управление во внутреннем контуре и управление во внешнем контуре не зависят друг от друга и не связаны между собой.

[0011] Управление во внутреннем контуре обеспечивает: вычисление, согласно динамике, теоретического опорного усилия  $W_i$ , которое должно выдерживать каждое колесо при движении транспортного средства по виртуальной наклонной плоскости с  $n$ -мерным ускорением, углом тангажа и углом крена, измеренными с помощью инерциального измерительного блока, и которое принимают за контрольное целевое значение опорного усилия каждого колеса; сравнение указанного теоретического опорного усилия с измеренным опорным усилием  $W_i^C$  каждого колеса; ввод разницы  $\Delta W_i = W_i - W_i^C$  между указанными значениями в сервоконтроллер в качестве регулировочной величины для управления раздвижением цилиндра подвески, так что опорное усилие каждого колеса изменяется в соответствии с теоретическим опорным усилием  $W_i$ . При этом  $i = 1, 2, \dots, m$ , где  $m$  - количество колес.

[0012] Управление во внешнем контуре обеспечивает: вычисление среднего значения всех ходов цилиндра подвески на основании каждого измеренного хода цилиндра подвески, сравнение среднего значения всех ходов цилиндра подвески с медианным значением ходов цилиндра подвески, принятие их разности за целевое смещение и управление каждым цилиндром подвески для получения одного и того же раздвижения смещения, так что среднее значение всех ходов цилиндра подвески стремится к медианному значению.

[0013] Кроме того, наконец, управление во внутреннем контуре и управление во

внешнем контуре в конечном итоге осуществляют путем управления смещением каждого цилиндра подвески, причем смещение каждого цилиндра подвески при управлении во внутреннем контуре и смещение каждого цилиндра подвески при управлении во внешнем контуре накладывают друг на друга на входном конце сервоконтроллера каждого цилиндра подвески.

[0014] Во втором аспекте данного изобретения предложено устройство управления, в котором используется вышеуказанный способ инерциального регулирования активной подвески транспортного средства на основании опорного усилия каждого колеса. Как показано на фиг.1, устройство управления содержит кузов 1 транспортного средства,  $m$  колес 2-1, 2-2, ..., 2- $m$ , инерциальный измерительный блок 3, цилиндры 4-1, 4-2, ..., 4- $m$  подвески, соответствующие колесам, а также датчики 5-1, 5-2, ..., 5- $m$  смещения и датчики 6-1, 6-2, ..., 6- $m$  опорного усилия, сервоконтроллеры 7-1, 7-2, ..., 7- $m$ , электронный блок 8 управления и т. д. При этом датчики 5-1, 5-2, ..., 5- $m$  смещения и датчики 6-1, 6-2, ..., 6- $m$  опорного усилия соответственно установлены в цилиндрах 4-1, 4-2, ..., 4- $m$  подвески и используются для измерения хода и опорного усилия каждого цилиндра подвески. Электронный блок 8 управления соединен с возможностью связи с инерциальным измерительным блоком 3, датчиками 5-1, 5-2, ..., 5- $m$  смещения и датчиками 6-1, 6-2, ..., 6- $m$  опорного усилия на цилиндрах подвески и с сервоконтроллерами 7-1, 7-2, ..., 7- $m$ . Сервоконтроллеры 7-1, 7-2, ..., 7- $m$  соответственно соединены с цилиндрами 4-1, 4-2, ..., 4- $m$  подвески для приведения указанных цилиндров в действие.

[0015] Кроме того, датчики опорного усилия установлены в местах соединения цилиндров подвески с кузовом транспортного средства, или датчик опорного усилия установлен на каждом из контура штоковой полости и контура бесштоковой полости масляного цилиндра/газового цилиндра подвески.

[0016] В другом варианте осуществления в данном изобретении предложен способ инерциального регулирования активной подвески на основании от опорного усилия каждого колеса, который включает управление во внутреннем контуре для управления вертикальным опорным усилием каждого колеса и управление во внешнем контуре для управления средним значением всех ходов масляного цилиндра подвески.

[0017] Управление во внутреннем контуре включает: вычисление фактического вертикального опорного усилия  $W_i^C$  каждого колеса в соответствии с измеренным вертикальным опорным усилием каждого цилиндра подвески; вычисление – в соответствии с измеренным  $b$ -мерным ускорением в системе координат транспортного средства, углом тангажа и углом крена кузова транспортного средства – теоретического вертикального

опорного усилия  $W_i$ , которое должно выдерживать каждое колесо при движении транспортного средства по виртуальной наклонной плоскости; принятие теоретического вертикального опорного усилия  $W_i$  каждого колеса в качестве контрольного целевого значения фактического вертикального опорного усилия  $W_i^C$ ; получение регулировочной величины  $\Delta W_i = W_i - W_i^C$  после вычисления разницы между теоретическим вертикальным опорным усилием и фактическим вертикальным опорным усилием, которая вводится в сервоконтроллер в качестве регулировочной величины раздвижения масляного цилиндра подвески для управления выдвиганием или втягиванием масляного цилиндра подвески.

[0018] Управление во внешнем контуре обеспечивает: вычисление среднего значения ходов масляного цилиндра подвески в соответствии с измеренным ходом каждого масляного цилиндра подвески, сравнение указанного среднего значения с медианным ходом каждого масляного цилиндра подвески и принятие разницы между медианным ходом и средним ходом каждого масляного цилиндра подвески в качестве целевого значения унифицированного раздвижения каждого масляного цилиндра подвески, так что каждый масляный цилиндр подвески выдвигается или втягивается с одинаковым смещением, а среднее значение хода масляного цилиндра подвески равно медианному ходу масляного цилиндра подвески.

[0019] Вследствие регулирования вертикального опорного усилия каждого колеса и управления раздвижением каждого масляного цилиндра подвески результирующее усилие, действующее на транспортное средство в вертикальном направлении, и соответствующие результирующие крутящие моменты вокруг продольной оси и горизонтальной оси, проходящей через центр масс, равны нулю или близки к нулю при действии различных усилий, к которым относятся движущее усилие, сопротивление перемещению, боковое усилие, сила тяжести, сила инерции и вертикальное опорное усилие каждого колеса, так что центр масс транспортного средства перемещается по прямой или плавной кривой, и положение транспортного средства остается в целом стабильным.

[0020] Кроме того, в процессе определения теоретического вертикального опорного усилия каждого колеса установлены фиксированная система OXYZ координат и система координат  $oxuz$  транспортного средства, как показано на фиг.3 Положительное направление оси X фиксированной системы OXYZ координат является перпендикулярным направлением транспортного средства, положительное направление оси Y является продольным направлением вперед транспортного средства, а положительное направление оси Z является вертикальным направлением вверх транспортного средства. Фиксированная система OXYZ координат привязана к виртуальной наклонной плоскости. Система

координат  $oxyz$  транспортного средства привязана к транспортному средству и совпадает с неподвижной системой  $OXYZ$  координат в их исходных положениях. Позиционные координаты системы координат транспортного средства в неподвижной системе координат заданы соответственно как  $x, y, z, \alpha, \beta, \gamma$ , масса транспортного средства задана как  $M$ , центр масс транспортного средства в системе координат  $oxyz$  – как  $W(x_w, y_w, z_w)$ , координаты  $x$  и  $y$  точки опоры  $O_i$  подвески под номером  $i$  в системе координат транспортного средства – соответственно как  $b_i$  и  $L_i$ , моменты инерции транспортного средства относительно осей  $x, y$  и  $z$  системы координат заданы как  $J_{xx}, J_{yy}$  и  $J_{zz}$ , а смешанные моменты инерции относительно осей  $x/y, y/z$  и  $x/z$  – как  $J_{xy}, J_{yz}$  и  $J_{xz}$ . При этом 6-мерное ускорение системы координат транспортного средства в виртуальной наклонной плоскости обозначено как  $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}, \ddot{\alpha}, \ddot{\beta}, \ddot{\gamma}$ , а измеренные углы наклона кузова транспортного средства – как  $\alpha$  и  $\beta$ .

[0021] Кроме того, для отражения влияния наклона на фактическое вертикальное опорное усилие каждого колеса угол  $\lambda$  наклона представляет собой внутренний угол между нормалью и отвесной линией плоскости виртуального уклона, а угол  $\varphi$  азимута перемещения транспортного средства представляет собой внутренний угол между постепенно нисходящим направлением виртуального наклона и осью  $x$  системы координат транспортного средства. Формулы для расчета угла  $\lambda$  наклона и угла  $\varphi$  азимута перемещения транспортного средства в зависимости от  $\alpha$  и  $\beta$  имеют следующий вид:

$$\lambda = \tan^{-1} \sqrt{T_X^2 + T_Y^2} \quad (1)$$

$$\varphi = \begin{cases} -\tan^{-1} \frac{T_X}{T_Y}, \beta > 0 \\ -\frac{\pi}{2} \operatorname{sgn} \alpha, \beta = 0 \\ \pi - \tan^{-1} \frac{T_X}{T_Y}, \beta < 0 \end{cases} \quad (2)$$

[0022] В указанных формулах  $T_X = \tan \alpha, T_Y = \tan \beta / \cos \alpha$ .

[0023] Кроме того, для нахождения теоретического вертикального опорного усилия каждого колеса задают перемещающее усилие колеса  $i$  в наземной точке виртуальной наклонной плоскости как  $P_i$ , сопротивление перемещению – как  $F_i$ , боковое усилие – как  $S_i$  и вертикальное опорное усилие колеса – как  $W_i$ , а затем получают теоретическое вертикальное опорное усилие  $W_i$  колеса путем составления и решения динамического уравнения следующим образом:

$$W_i = \{1 \quad L_1 \quad -b_i\} [H]^{-1} \{A\} \quad (3)$$

[0024] При этом:

$$[H] = \begin{bmatrix} 6 & \sum_{i=1}^6 L_i & -\sum_{i=1}^6 b_i \\ \sum_{i=1}^6 L_i & \sum_{i=1}^6 L_i^2 & -\sum_{i=1}^6 L_i b_i \\ -\sum_{i=1}^6 b_i & -\sum_{i=1}^6 L_i b_i & \sum_{i=1}^6 b_i^2 \end{bmatrix}$$

$$[A] = \left\{ \begin{array}{l} -Mg \cos \lambda - M\ddot{z} - My_w \ddot{\alpha} + Mx_w \ddot{\beta} \\ -Mg(z_w \sin \lambda \sin \varphi + y_w \cos \lambda) + Mz_w \ddot{y} - My_w \ddot{z} - [J_{xx} + M(y_w^2 + z_w^2)] \ddot{\alpha} + (My_w x_w + J_{xy}) \ddot{\beta} + (Mx_w z_w + J_{xz}) \ddot{\gamma} \\ Mg(z_w \sin \lambda \cos \varphi + x_w \cos \lambda) - Mz_w \ddot{x} + Mx_w \ddot{z} + (J_{xy} + Mx_w y_w) \ddot{\alpha} - [J_{yy} + M(x_w^2 + z_w^2)] \ddot{\beta} + (J_{xz} + My_w z_w) \ddot{\gamma} \end{array} \right\}$$

[0025] В каждой формуле  $i=1, 2, 3, \dots, m$ .

[0026] Кроме того, согласно вышеуказанному способу инерциального регулирования активной подвески транспортного средства на основании опорного усилия каждого колеса управление во внутреннем контуре и управление во внешнем контуре не зависят друг от друга и не связаны между собой. Как управление во внутреннем контуре, так и управление во внешнем контуре для управления опорным усилием осуществляют путем управления хода смещения масляного цилиндра подвески. Перемещение масляного цилиндра подвески при управлении во внутреннем контуре и перемещение масляного цилиндра подвески при управлении во внешнем контуре накладывают друг на друга на входном конце сервоконтроллера каждого масляного цилиндра подвески.

[0027] Также в данном изобретении предложено устройство управления, в котором используется способ инерциального регулирования активной подвески транспортного средства на основании опорного усилия каждого колеса и которое содержит кузов транспортного средства, инерциальный измерительный блок, электронный блок управления, колеса, масляные цилиндры подвески, соответствующие колесам, датчики смещения и датчики опорного усилия, соответствующие масляным цилиндрам подвески, и сервоконтроллеры, причем инерциальный измерительный блок, электронный блок управления и сервоконтроллеры закреплены на кузове транспортного средства, колеса соединены с кузовом транспортного средства при помощи масляных цилиндров подвески, а датчики смещения и датчики опорного усилия соединены с масляными цилиндрами подвески и используются для измерения хода и опорного усилия каждого масляного цилиндра подвески, при этом электронный блок управления соединен с возможностью связи с инерциальным измерительным блоком, датчиками смещения и датчиками опорного усилия масляных цилиндров подвески, а также сервоконтроллерами, и каждый



сервоконтроллер соединен с соответствующим масляным цилиндром подвески для приведения указанного цилиндра в действие.

[0028] Кроме того, датчики опорного усилия установлены в местах соединения масляных цилиндров подвески с кузовом транспортного средства, или датчик опорного усилия установлен на каждой из масляных линий штоковой полости и масляной линий бесштоковой полости масляного цилиндра подвески.

[0029] По сравнению с известной технологией активной подвески, способ управления активной подвеской с инерциальным регулированием и устройство управления подвеской на основании опорного усилия каждого колеса, предложенные в данном изобретении, имеют следующие преимущества:

[0030] (1) Координация и единство контроля комфорта вождения и контроля стабильности управления хорошо реализованы. В данном изобретении способ включает регулирование опорного усилия каждого колеса и управление раздвижением каждого цилиндра подвески для управления результирующим усилием, действующим на транспортное средство в вертикальном направлении, и соответствующими результирующими крутящими моментами вокруг продольной оси и горизонтальной оси, проходящей через центр масс, так, чтобы они были равны нулю или близки к нулю, так что центр масс транспортного средства перемещается по прямой линии или плавной кривой, и положение транспортного средства остается в целом стабильным.

[0031] (2) Транспортное средство потребляет меньшее количество энергии при движении по неровной дорожной поверхности. Поскольку подъем и падение центра масс, а также толчки и раскачивание при движении транспортного средства потребляют много энергии, в сравнении с известным способом управления активной подвеской данное изобретение может обеспечить более плавную траекторию центра масс транспортного средства, движущегося по неровной дорожной поверхности и значительное уменьшение амплитуды раскачивания. Таким образом, может быть обеспечено эффективное снижение потребления энергии при движении транспортного средства.

[0032] Практика применения показывает, что устройство активной подвески согласно данному изобретению может обеспечить эффективное ограничение влияния, оказываемого неровностями грунта, геологическими мягкими и жесткими изменениями, ускорением/торможением и рулением на плавное перемещение транспортного средства, и значительно повысить комфорт вождения и стабильность управления транспортным средством в сложных дорожных условиях.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0033] Фиг.1 изображает структурную схему устройства управления активной подвеской с инерциальным регулированием на основании опорного усилия каждого колеса согласно данному изобретению,

[0034] фиг.2 изображает структурную схему устройства управления активной подвеской трехосного транспортного средства с инерциальным регулированием на основании опорного усилия каждого колеса согласно изобретению,

[0035] фиг.3 изображает схему динамической модели трехосного транспортного средства с пассивной подвеской при движении по наклонной плоскости согласно изобретению,

[0036] фиг.4 изображает структурную схему масляного цилиндра общей подвески в активном/пассивном режиме в первом варианте выполнения изобретения,

[0037] фиг.5 изображает схему режима работы при поднятой стреле испытательного транспортного средства в первом варианте выполнения изобретения,

[0038] фиг.6 изображает схему режима работы при опущенной стреле испытательного транспортного средства в первом варианте выполнения изобретения,

[0039] фиг.7 изображает структурную схему треугольного выпуклого блока, используемого в качестве дорожного барьера в первом варианте выполнения изобретения,

[0040] фиг.8 изображает схему расположения треугольных выпуклых блоков при условии одностороннего непрерывного пересечения барьера в первом варианте выполнения изобретения,

[0041] фиг.9 изображает схему расположения треугольных выпуклых блоков при условии двустороннего непрерывного пересечения барьера в первом варианте выполнения изобретения,

[0042] фиг.10 изображает схему расположения треугольных выпуклых блоков при условии двустороннего шахматного пересечения барьера в первом варианте выполнения изобретения, и

[0043] фиг.11 изображает структурную схему масляного цилиндра активной подвески во втором варианте выполнения изобретения.

## ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ

[0044] Научная идея данного изобретения выдвинута согласно принципу динамики транспортного средства. Причина, по которой транспортное средство может перемещаться со скоростью более 120 км/ч по трассе, заключается главным образом в том,

что поверхность дороги очень ровная. При ограничении плоскостью земли центр масс транспортного средства может перемещаться только по прямой или плавной кривой, и транспортное средство сохраняет стабильное положение.

[0045] Согласно первому закону Ньютона, для перемещения центра масс транспортного средства по прямой или плавной кривой при движении по неровной дорожной поверхности и для сохранения устойчивого положения транспортного средства необходимо по меньшей мере гарантировать, что результирующее усилие, действующее на транспортное средство в вертикальном направлении, и соответствующие результирующие крутящие моменты вокруг продольной оси и горизонтальной оси, проходящей через центр масс, равны нулю или близки к нулю. Исходя из этого в данном изобретении предложен принцип регулирования инерции активной подвески на основании опорного усилия каждого колеса: в результате регулирования опорного усилия каждого колеса результирующее усилие, действующее на транспортное средство в вертикальном направлении, и соответствующие результирующие крутящие моменты вокруг продольной оси и горизонтальной оси, проходящей через центр масс, равны нулю или близки к нулю под действием различных сил, к которым относятся движущее усилие каждого колеса, сопротивление перемещению, боковое усилие, сила тяжести и сила инерции.

[0046] Для нахождения контрольного целевого значения опорного усилия каждого колеса, которое отвечает вышеуказанным требованиям, в данном изобретении предложена идея, заключающаяся в проектировании виртуальной наклонной плоскости, причем угол тангажа, угол крена и б-мерное ускорение в центре масс транспортного средства, движущегося по виртуальной наклонной плоскости, равны значениям, измеренным при движении транспортного средства по неровной дорожной поверхности. Вследствие ограничений наклонной плоскости, когда транспортное средство движется по ней, центр масс перемещается по прямой или плавной кривой с сохранением в целом стабильного положения, что означает, что результирующее усилие, действующее на транспортное средство в вертикальном направлении, и соответствующие результирующие крутящие моменты вокруг продольной оси и горизонтальной оси, проходящие через центр масс, равны нулю или близки к нулю при движении транспортного средства по виртуальной наклонной плоскости. Таким образом, опорное усилие, действующее на каждое колесо при движении транспортного средства по виртуальной наклонной плоскости, подходит в качестве контрольного целевого значения опорного усилия каждого колеса при движении транспортного средства по неровной дорожной поверхности.

[0047] Практика доказала, что вышеизложенная академическая идея верна, однако

существует проблема в практическом применении, заключающаяся в том, что управление подвеской представляет собой только управление опорным усилием каждого колеса, и отсутствует управление ходом подвески. Следовательно, с течением времени некоторые или все ходы цилиндров подвески достигают предельного хода, что приводит к серьезному ухудшению комфорта езды и управления транспортным средством.

[0048] Поскольку в процессе управления смещение цилиндра подвески в каждом цикле сканирования намного меньше, чем высота центра масс транспортного средства, то в один и тот же период сканирования при выдвигании и втягивании каждого цилиндра подвески в соответствии с одинаковым смещением можно считать, что это не влияет на различные усилия в транспортном средстве, в том числе опорное усилие каждого колеса. Если всегда возможен контроль среднего хода в среднем значении ходов подвески с помощью унифицированного раздвижения одинакового смещения каждой подвески, это может не только в наибольшей степени предотвратить ухудшение комфорта езды и вождения, вызванное достижением предельного хода масляного цилиндра, но и улучшить приспособляемость транспортного средства к неровному дорожному покрытию в будущем. Таким образом, в дополнение к управлению опорным усилием колеса, данное изобретение также предусматривает управление средним ходом подвески. Первое называется управлением во внутреннем контуре, а второе – управлением во внешнем контуре. Они не зависят друг от друга и не взаимосвязаны друг с другом.

[0049] Ниже на примере трехосного (6-колесного) транспортного средства и иллюстративных вариантов выполнения приведено подробное описание признаков и способов согласно данному изобретению со ссылкой на прилагаемые чертежи. Другие транспортные средства с тремя или более колесами могут быть сконструированы таким же образом, как в данном примере.

[0050] 1. Аппаратная конструкция устройства управления активной подвеской

[0051] На фиг.2 изображено устройство управления активной подвеской трехосного (шестиколесного) транспортного средства с инерциальным регулированием на основании опорного усилия каждого колеса, в котором используется вид гидравлического сервопривода. Устройство содержит кузов 1 транспортного средства, шесть колес 2-1, 2-2, ..., 2-6, инерциальный измерительный блок 3, масляные цилиндры 4-1, 4-2, ..., 4-6 подвески, соответствующие колесам, а также датчики 5-1, 5-2, ..., 5-6 смещения и датчики 6-1, 6-2, ..., 6-6 опорного усилия, сервоконтроллеры 7-1, 7-2, ..., 7-6, электронный блок управления 8 и т. д. При этом датчики 5-1, 5-2, ..., 5-6 смещения и датчики 6-1, 6-2, ..., 6-6 опорного усилия соответственно установлены в масляных цилиндрах 4-1, 4-2, ..., 4-6 подвески и

используются для измерения хода и опорного усилия каждого цилиндра подвески. Электронный блок управления 8 соединен с инерциальным измерительным блоком 3, датчиками 5-1, 5-2, ..., 5-6 смещения и датчиками 6-1, 6-2, ..., 6-6 опорного усилия на масляных цилиндрах подвески и с сервоконтроллерами 7-1, 7-2, ..., 7-6. Сервоконтроллеры 7-1, 7-2, ..., 7-6 соответственно соединены с цилиндрами 4-1, 4-2, ..., 4-6 подвески для приведения указанных цилиндров в действие.

[0052] 2. Способ нахождения опорного усилия каждого колеса при движении транспортного средства по виртуальной наклонной плоскости

[0053] (1) Динамическое моделирование трехосного автомобиля с пассивной подвеской

[0054] Как показано на фиг.3, транспортное средство рассматривается в качестве жесткого тела, при этом вес транспортного средства задан как  $M$ . Все подвески транспортного средства являются независимыми подвесками, и все подвески имеют одинаковые конструктивные размеры и рабочие параметры. Аппаратная конструкция устройства подвески упрощена до параллельного соединения амортизатора и пружины. Пружина является линейной, и ее жесткость равна  $K_z$ . Демпфирование амортизатора представляет собой вязкостное демпфирование, а коэффициент демпфирования равен  $C_z$ . Поскольку боковая и тангенциальная упругость и демпфирование устройства подвески оказывают незначительное влияние на динамические характеристики транспортного средства, боковая и тангенциальная упругость и демпфирование подвесок в данном документе не учитываются. Задают правостороннюю систему координат  $OXYZ$ , принимая положительное направление оси  $X$  за поперечное направление транспортного средства вправо, положительное направление оси  $Y$  – за продольное направление транспортного средства вперед, а положительное направление оси  $Z$  – за продольное направление транспортного средства вверх. Система координат неподвижно связана с наклонной плоскостью и является фиксированной системой координат. Для определения положения трехосного автомобиля в неподвижной системе координат вводят систему координат  $oxuz$  автомобиля. Система координат транспортного средства совпадает с неподвижной системой координат в их начальных положениях, и ее координаты позиционирования в неподвижной системе координат соответственно следующие:  $x, y, z, \alpha, \beta, \gamma$ .

[0055] Задают координаты центра масс транспортного средства как  $W(x_w, y_w, z_w)$  в системе координат  $oxuz$  транспортного средства и задают координаты  $x$  и  $y$  точки  $O_i$  опоры подвески с номером  $i$  как  $b_i, L_i, i=1, 2, \dots, 6$  в системе координат  $oxuz$ . Задают моменты инерции транспортного средства относительно осей  $x, y$  и  $z$  как  $J_{xx}, J_{yy}$  и  $J_{zz}$ , а смешанные

моменты инерции относительно осей  $x/y$ ,  $y/z$  и  $x/z$  – как  $J_{XY}$ ,  $J_{YZ}$  и  $J_{XZ}$ . Задают 6-мерные ускорения системы координат транспортного средства относительно неподвижной системы координат, которые измеряют с помощью блока 3 измерения инерции, как  $\ddot{x}$ ,  $\ddot{y}$ ,  $\ddot{z}$ ,  $\ddot{\alpha}$ ,  $\ddot{\beta}$ ,  $\ddot{\gamma}$ , а измеренные углы наклона кузова транспортного средства – соответственно как  $\alpha$  и  $\beta$ . Для точного отражения влияния уклона на опорное усилие каждого колеса введены понятия угла наклона и угла азимута перемещения транспортного средства: угол наклона представляет собой внутренний угол между плоскостью уклона и горизонтальной плоскостью, который обозначен  $\lambda$ , а угол азимута представляет собой внутренний угол между направлением уменьшения крутизны уклона и осью  $x$  системы координат транспортного средства, который обозначен  $\varphi$ .

[0056] Формулы преобразования для расчета  $\lambda$  и  $\varphi$  по  $\alpha$  и  $\beta$  имеют следующий вид:

$$\lambda = \tan^{-1} \sqrt{T_X^2 + T_Y^2} \quad (1)$$

$$\varphi = \begin{cases} -\tan^{-1} \frac{T_X}{T_Y}, \beta > 0 \\ -\frac{\pi}{2} \operatorname{sgn} \alpha, \beta = 0 \\ \pi - \tan^{-1} \frac{T_X}{T_Y}, \beta < 0 \end{cases} \quad (2)$$

[0057] В формулах,  $T_X = \tan \alpha$ ,  $T_Y = \tan \beta / \cos \alpha$ .

[0058] (2) Нахождение контрольного целевого значения опорного усилия каждого колеса

[0059] На фиг.3 движущее усилие, сопротивление перемещению, боковое усилие и опорное усилие колеса под номером  $i$  в наземной точке наклонной плоскости обозначены соответственно как  $P_i$ ,  $F_i$ ,  $S_i$ ,  $W_i$ ,  $i=1, 2, \dots, 6$ . Составив динамическое уравнение и решив его, можно получить следующее:

$$W_i = \{1 \quad L_1 \quad -b_i\} [H]^{-1} \{A\}, i=1, 2, \dots, 6 \quad (3)$$

[0060] Причем

$$[H] = \begin{bmatrix} 6 & \sum_{i=1}^6 L_i & -\sum_{i=1}^6 b_i \\ \sum_{i=1}^6 L_i & \sum_{i=1}^6 L_i^2 & -\sum_{i=1}^6 L_i b_i \\ -\sum_{i=1}^6 b_i & -\sum_{i=1}^6 L_i b_i & \sum_{i=1}^6 b_i^2 \end{bmatrix}$$

$$[A] = \left\{ \begin{array}{l} -Mg \cos \lambda - M\ddot{z} - My_w \ddot{\alpha} + Mx_w \ddot{\beta} \\ -Mg(z_w \sin \lambda \sin \varphi + y_w \cos \lambda) + Mz_w \ddot{y} - My_w \ddot{z} - [J_{XX} + M(y_w^2 + z_w^2)] \ddot{\alpha} + (My_w x_w + J_{XY}) \ddot{\beta} + (Mx_w z_w + J_{XZ}) \ddot{\gamma} \\ Mg(z_w \sin \lambda \cos \varphi + x_w \cos \lambda) - Mz_w \ddot{x} + Mx_w \ddot{z} + (J_{XY} + Mx_w y_w) \ddot{\alpha} - [J_{YY} + M(x_w^2 + z_w^2)] \ddot{\beta} + (J_{XZ} + My_w z_w) \ddot{\gamma} \end{array} \right\}$$

[0061] Можно видеть, что  $W_i$  является функцией 6-мерного ускорения и угла наклона транспортного средства и связано с инерционными свойствами транспортного средства в системе координат  $oxyz$  и координатами положения верхней точки опоры каждой подвески в системе координат  $oxyz$ , но никак не связано с жесткостью и амортизацией подвесок.

[0062] 3. Способ инерциального регулирования устройства подвески

[0063] Способ инерциального урегулирования активной подвески трехосного транспортного средства на основании опорного усилия каждого колеса делится на две части: управление во внутреннем контуре и управление во внешнем контуре.

[0064] (1) Управление во внутреннем контуре

[0065] Сначала измеряют фактические опорные усилия  $W_i^C$  всех колес 2-1, 2-2, ..., 2-6 в соответствии с данными от датчиков 6-1, 6-2, ..., 6-6 опорных усилий, установленных на масляных цилиндрах подвески,  $i=1, 2, \dots, 6$ ; затем, подставляя 6-мерные ускорения  $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}, \ddot{\alpha}, \ddot{\beta}, \ddot{\gamma}$  и углы  $\alpha$  и  $\beta$  наклона кузова транспортного средства в системе координат транспортного средства, измеренные инерционным измерительным блоком 3, в выражения (1), (2) и (3), получают теоретическое опорное усилие  $W_i$ , которое должно выдерживать каждое колесо при движении транспортного средства по соответствующей виртуальной наклонной плоскости,  $i=1, 2, \dots, 6$ . Используют теоретическое опорное усилие в качестве контрольного целевого значения фактического опорного усилия каждого колеса и получают регулировочную величину разницы  $\Delta W_i = W_i - W_i^C$  по их разности; получают соответствующее смещение масляного цилиндра подвески после ПИД регулировки и вводят данное смещение в сервоконтроллер 7-1, 7-2, ..., 7-6 для приведения масляных цилиндров 4-1, 4-2, ..., 4-6 подвески в действие с обеспечением их выдвигания или втягивания; и обеспечивают изменение фактического опорного усилия  $W_i^C$  каждого колеса согласно контрольному целевому значению опорного усилия  $W_i$  в результате данного управления.

[0066] (2) Управление во внешнем контуре

[0067] Измеряют ход  $w_i$  каждого масляного цилиндра подвески с помощью датчиков 5-1, 5-2, ..., 5-6 смещения, установленных на масляных цилиндрах подвески, и затем вычисляют среднее значение  $\bar{w} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 w_i$  ходов шести масляных цилиндров подвески, где  $i=1, 2, \dots, 6$ . Принимают разницу  $\delta = \frac{S_0}{2} - \bar{w}$  между медианным значением  $\frac{S_0}{2}$  ходов масляного цилиндра подвески и вышеуказанным средним значением ходов

масляного цилиндра подвески в качестве целевого значения унифицированного смещения при выдвигании и втягивании каждого масляного цилиндра подвески для управления ходом каждого масляного цилиндра подвески, так что каждый масляный цилиндр подвески осуществляет выдвигание или втягивание с одинаковым смещением  $\delta$ . Таким образом, среднее значение всех ходов масляного цилиндра подвески стремится к медианному значению  $\frac{S_0}{2}$  ходов масляного цилиндра подвески, где  $S_0$  – максимальный ход масляного цилиндра подвески.

[0068] Вышеуказанные управление во внутреннем контуре и управление во внешнем контуре не зависят друг от друга и не связаны между собой. Несмотря на то что управление во внутреннем контуре служит для управления опорным усилием каждого колеса, в конечном итоге оно осуществляется путем управления смещением цилиндра подвески. Таким образом, степень управления во внутреннем контуре и степень управления по внешнему контуре управления обе определяют величину смещения и могут быть наложены друг на друга. Как показано на фиг.1, в качестве точки наложения выбран входной конец сервоконтроллера каждого масляного цилиндра подвески.

[0069] 4. Преимущества конкретных вариантов выполнения данного изобретения

[0070] Ниже со ссылкой на фиг.4-10 описано решение, в котором масляные цилиндры подвески совместно используют в активном/пассивном режиме в первом варианте выполнения данного изобретения. Данное изобретение прошло практическое испытание на аварийно-спасательном транспортном средстве и показало хорошие эксплуатационные результаты.

[0071] (1) Основная информация о заявке

[0072] Транспортное средство, используемое в данном изобретении, представляет собой спринклерное пожарное транспортное средство лестничного типа, в котором до внедрения данного изобретения используется газомасляное устройство подвески. Устройство активной подвески не применяется во всей отрасли таких транспортных средств в мире, и газомасляное устройство подвески является самым передовым устройством подвески, применяемым в настоящее время во всей отрасли таких транспортных средств. После внедрения данного изобретения устройство активной подвески добавляется на основе оригинального газомасляного устройства подвески, и образуется текущий переключаемый режим работы активной/пассивной подвески. Устройство активной подвески сконструировано в соответствии с принципом и способом согласно данному изобретению. Оно приводится в действие с помощью гидравлического сервопривода и



использует технологию активной подвески с инерциальным регулированием на основании опорного усилия каждого колеса. Режимы работы активной/пассивной подвески могут переключаться с помощью переключателя на передней панели кабины водителя.

[0073] Основные параметры транспортного средства согласно изобретению приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры транспортного средства согласно изобретению

Тип транспортного средства	Спринклерное пожарное транспортное средство лестничного типа
Масса транспортного средства, кг	29898
Модель двигателя	MC13.48-50
Вес оси, кг	11115/9359/9424
Технические характеристики шин	445/95R25
Тип подвески	Специальная подвеска с функцией переключения активного/пассивного режима

[0074] В активном/пассивном режимах устройства подвески транспортного средства совместно используются масляные цилиндры подвески, как показано на фиг.4. На фиг.4 изображена функциональная и структурная схема первого масляного цилиндра подвески колеса транспортного средства, при этом остальные масляные цилиндры подвески колеса точно такие же. На чертеже масляный цилиндр 4-1 подвески установлен между кузовом 1 и колесом 2-1 и приводится в действие с помощью сервоконтроллера 7-1, содержащего сервоусилитель 7-1-1 и сервоклапан 7-1-2. В штоке поршня масляного цилиндра 4-1 установлен магнитострикционный датчик 5-1. Для измерения опорного усилия колеса на масляной линии А масляного цилиндра подвески, соединенной с бесштоковой полостью, и на масляной линии В указанного цилиндра, соединенной со штоковой полостью, установлены соответственно датчики 6-1-1 и 6-1-2 давления. Опорное усилие масляного цилиндра подвески может быть рассчитано согласно давлению в

масляной линии, измеренному указанными двумя датчиками давления, и площади штоковой и бесштоковой полостей масляного цилиндра подвески. Исходя из этого, фактическое опорное усилие каждого колеса может быть рассчитано в соответствии с конкретной зависимостью передачи усилия в шатунном механизме подвески.

[0075] (2) Определение испытательного решения

[0076] Испытательный проект испытаний в основном направлен на сравнение комфорта вождения и стабильности управления в двух режимах подвески. Конкретный испытательный проект выглядит следующим образом.

[0077] (2.1) Испытание на комфортность вождения

[0078] Для транспортного средства испытание на комфортность вождения проводят соответственно в режиме активной подвески и в режиме пассивной подвески, при этом соответственно рассчитывают и сравнивают между собой среднеквадратичные значения комбинированных суммарных взвешенных ускорений. В то же время проверяют и сравнивают друг с другом углы наклона кузова транспортного средства при пересечении им барьера. Во время испытания транспортное средство находится в режиме работы при поднятой стреле, как показано на фиг.5. Воздействие дороги на шину реализуют путем установки барьера из треугольных выпуклых блоков на обычную цементную дорожную поверхность. Барьер из треугольного выпуклого блока показан на фиг.7.

[0079] Испытание проходит при трех рабочих условиях: одностороннее непрерывное пересечение колесами барьера из треугольных выпуклых блоков, двустороннее непрерывное пересечение барьера из треугольных выпуклых блоков и двустороннее шахматное пересечение барьера из треугольных выпуклых блоков. Схемы расположения треугольных выпуклых блоков при всех рабочих условиях показаны соответственно на фиг.8, 9 и 10.

[0080] (2.2) Испытание на поворот в устойчивом состоянии для проверки стабильности управления

[0081] Для транспортного средства испытание стабильности управления с точки зрения поворота в устойчивом состоянии проводят соответственно в режиме активной подвески и в режиме пассивной подвески, при этом рассчитывают и сравнивают между собой соответствующие степени крена кузова транспортного средства. Во время испытания транспортное средство находится в режиме работы при опущенной стреле, как показано на фиг.6. Испытание не проводят в режиме работы при поднятой стреле, поскольку руление на высокой скорости в режиме гидропневматической подвески может привести к опрокидыванию транспортного средства.

[0082] (2.3) Испытание экстренного торможения для проверки стабильности управления

[0083] Испытание экстренного торможения проводят при движении транспортного средства по прямой на скорости 5 км/ч в двух режимах: активной подвески и пассивной гидропневматической подвески, соответственно. Углы тангажа кузова транспортного средства проверяют и сравнивают друг с другом. Во время испытания транспортное средство находится в режиме работы при поднятой стреле, как показано на фиг.5.

[0084] (3) Результаты испытаний

[0085] Испытание проводят согласно вышеуказанному испытательному решению, при этом результаты испытания и выводы следующие.

[0086] (3.1) Результаты испытаний, см. Таблицу 2, Таблицу 3 и Таблицу 4.

[0087] (3.2) Выводы по результатам испытаний

[0088] По сравнению с оригинальной гидропневматической подвеской комфорт вождения и стабильность управления для активной подвески согласно данному изобретению значительно улучшены при стандартных условиях вождения.

[0089] (3.2.1) В ходе испытания на комфортность вождения среднеквадратичное значение ускорений активной подвески снижено на 32,4% по сравнению с пассивной гидропневматической подвеской при пересечении треугольного барьера. Средний угол крена кузова транспортного средства уменьшен на 34,5% при одностороннем прохождении треугольного барьера колесами, а средний угол тангажа кузова транспортного средства уменьшен на 25,7% при двустороннем прохождении треугольного барьера колесами.

[0090] (3.2.2) В ходе испытания на поворот в устойчивом состоянии степень крена кузова транспортного средства с активной подвеской снижена на 40,8% при левом повороте и на 51,2% при правом повороте по сравнению с пассивной гидропневматической подвеской.

[0091] (3.2.3) В ходе испытания экстренного торможения угол тангажа кузова транспортного средства с активной подвеской уменьшен на 64,6% по сравнению с пассивной гидропневматической подвеской.

Таблица 2. Результаты испытания на комфортность вождения

Испытательный проект	Условия испытания	Среднеквадратичные значения суммарных взвешенных ускорений (м/с <sup>2</sup> )	Средний угол наклона кузова транспортного средства (°)

		Положение испытания	Пассивный режим	Активный режим	Улучшение рабочих параметров	Пассивный режим	Активный режим	Улучшение рабочих параметров
Испытания на комфортность вождения	Одностороннее непрерывное пересечение треугольного барьера колесами	Над подушкой сиденья	0,61	0,41	32,4%	2,38	1,56	34,5%
		Спинка сиденья						
		Пол						
	Двустороннее непрерывное пересечение треугольного барьера колесами	Над подушкой сиденья	1,05	0,72	31,7%	2,34	1,74	25,7%
		Спинка сиденья						
		Пол						
	Двустороннее шахматное пересечение треугольного барьера колесами	Над подушкой сиденья	0,52	0,43	17,8%	2,57	1,74	32,3%
		Спинка сиденья						
		Пол						
Примечание	(1) Пожарный автомобиль находится в режиме работы при поднятой стреле и скорости 3 км/ч (2) Средний угол наклона кузова транспортного средства: испытание угла крена кузова транспортного средства при одностороннем непрерывном пересечении колесами треугольного барьера; испытание угла тангажа кузова транспортного средства при двустороннем непрерывном пересечении колесами треугольного барьера; и испытание угла крена кузова транспортного средства при двустороннем ступенчатом пересечении колесами треугольного барьера.							

Таблица 3. Результаты испытания на поворот в устойчивом состоянии для проверки стабильности управления

Испытательный проект	Степень крена кузова транспортного средства [(°)/(м/с <sup>2</sup> )].			Улучшение рабочих параметров
	Направление	Пассивный режим	Активный режим	
Испытание на поворот в устойчивом положении для проверки стабильности управления (Центробежное ускорение = 2 м/с <sup>2</sup> )	Левый поворот	0,76	0,45	40,8%
	Правый поворот	0,82	0,40	51,2%

Таблица 4. Результаты испытания устойчивости управления при экстренном торможении

Испытательный проект	Пиковый угол тангажа кузова транспортного средства (°)			Улучшение рабочих параметров
	Направление	Пассивный режим	Активный режим	
Испытание экстренного торможения для проверки стабильности управления (Торможение начинается при скорости 5 км/ч)	Прямая линия	0,975	0,345	64,6%

[0092] Эксплуатационные эффекты, полученные в результате вышеописанного испытания, основаны на функции и конструкции масляного цилиндра подвески в первом варианте выполнения данного изобретения, показанном на фиг.4. Он рассчитывает опорную силу колеса путем измерения давления в двух полостях масляного цилиндра подвески. Преимущество заключается в том, что форма и размер конструкции оригинального гидропневматического масляного цилиндра подвески не изменены. Следует отметить, что из-за трения масляного цилиндра будет иметь место определенная погрешность в рассчитанном опорном усилии колеса.

[0093] В альтернативном решении, то есть во втором варианте выполнения данного изобретения, как показано на фиг.11, на конце масляного цилиндра подвески, соединенного с кузовом транспортного средства, установлен датчик 6-1 натяжения-сжатия для измерения опорного усилия колеса, и точность измерения опорного усилия колеса может достигать менее 1% после испытания. Масляный цилиндр подвески, показанный на фиг.11, может решить проблему, связанную с наличием определенной погрешности в опорном усилии колеса, рассчитанном в первом варианте выполнения, вследствие трения масляного цилиндра, и характеристики управления подвеской могут быть дополнительно улучшены. Следует отметить, что во втором варианте выполнения данного изобретения необходимо изменение конструкции масляного цилиндра подвески и даже положения точки опоры на масляном цилиндре подвески, а также требуется определенное пространство для установки.

[0094] В описании данного документа такие выражения, как «вариант

выполнения», «некоторые варианты выполнения», «примеры», «конкретные примеры» или «некоторые примеры», используются для указания на то, что конкретные признаки, конструкции, материалы или характеристики, описанные в связи с такими вариантами выполнения или примерами, содержатся в по меньшей мере одном варианте выполнения или примере согласно данному изобретению. В данном документе схематическое использование вышеуказанных выражений не обязательно относится к идентичным вариантам выполнения или примерам. Кроме того, конкретные признаки, конструкции, материалы или характеристики, приведенные в описании, могут быть соответствующим образом объединены в любом одном или более вариантах выполнения или примерах.

[0095] Выше приведено описание вариантов выполнения данного изобретения. Однако данное изобретение не ограничено вышеприведенными вариантами выполнения. Любая модификация, эквивалентная замена, усовершенствование и т. д., выполненные в соответствии с идеей и принципами данного изобретения, находятся в рамках объема охраны данного изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ инерциального регулирования активной подвески транспортного средства на основании опорного усилия каждого колеса, включающий регулировку опорного усилия каждого колеса и управление раздвижением каждого цилиндра подвески для управления результирующим усилием, действующим на транспортное средство в вертикальном направлении, и соответствующими результирующими крутящими моментами вокруг продольной оси и горизонтальной оси, проходящей через центр масс, так, чтобы они были равны нулю или близки к нулю, так что центр масс транспортного средства перемещается по прямой линии или плавной кривой, и положение транспортного средства остается в целом стабильным.

2. Способ по п.1, в котором выполняют управление во внутреннем контуре и управление во внешнем контуре, причем управление во внутреннем контуре используют для управления опорным усилием каждого колеса, а управление во внешнем контуре используют для управления средним значением всех ходов цилиндров подвески, при этом управление во внутреннем контуре и управление во внешнем контуре не зависят друг от друга и не связаны между собой.

3. Способ по п.2, в котором в ходе управления во внутреннем контуре выполняют вычисление, согласно динамике, теоретического опорного усилия  $W_i$ , которое должно выдерживать каждое колесо при движении транспортного средства по виртуальной наклонной плоскости с  $b$ -мерным ускорением, углом тангажа и углом крена, измеренными с помощью инерциального измерительного блока, и которое принимают за контрольное целевое значение опорного усилия каждого колеса, сравнение указанного теоретического опорного усилия с измеренным опорным усилием  $W_i^C$  каждого колеса; ввод разницы  $\Delta W_i = W_i - W_i^C$  между указанными значениями в сервоконтроллер в качестве регулировочной величины для управления раздвижением цилиндра подвески, так что опорное усилие каждого колеса изменяется в соответствии с теоретическим опорным усилием  $W_i$ , при этом  $i = 1, 2, \dots, m$ , где  $m$  - количество колес.

4. Способ по п.2, в котором в ходе управления во внешнем контуре выполняют вычисление среднего значения всех ходов цилиндра подвески на основании каждого измеренного хода цилиндра подвески, сравнение среднего значения всех ходов цилиндра подвески с медианным значением ходов цилиндра подвески, принятие их разности за целевое смещение и управление каждым цилиндром подвески для получения одного и того же раздвижения смещения, так что среднее значение всех ходов цилиндра подвески

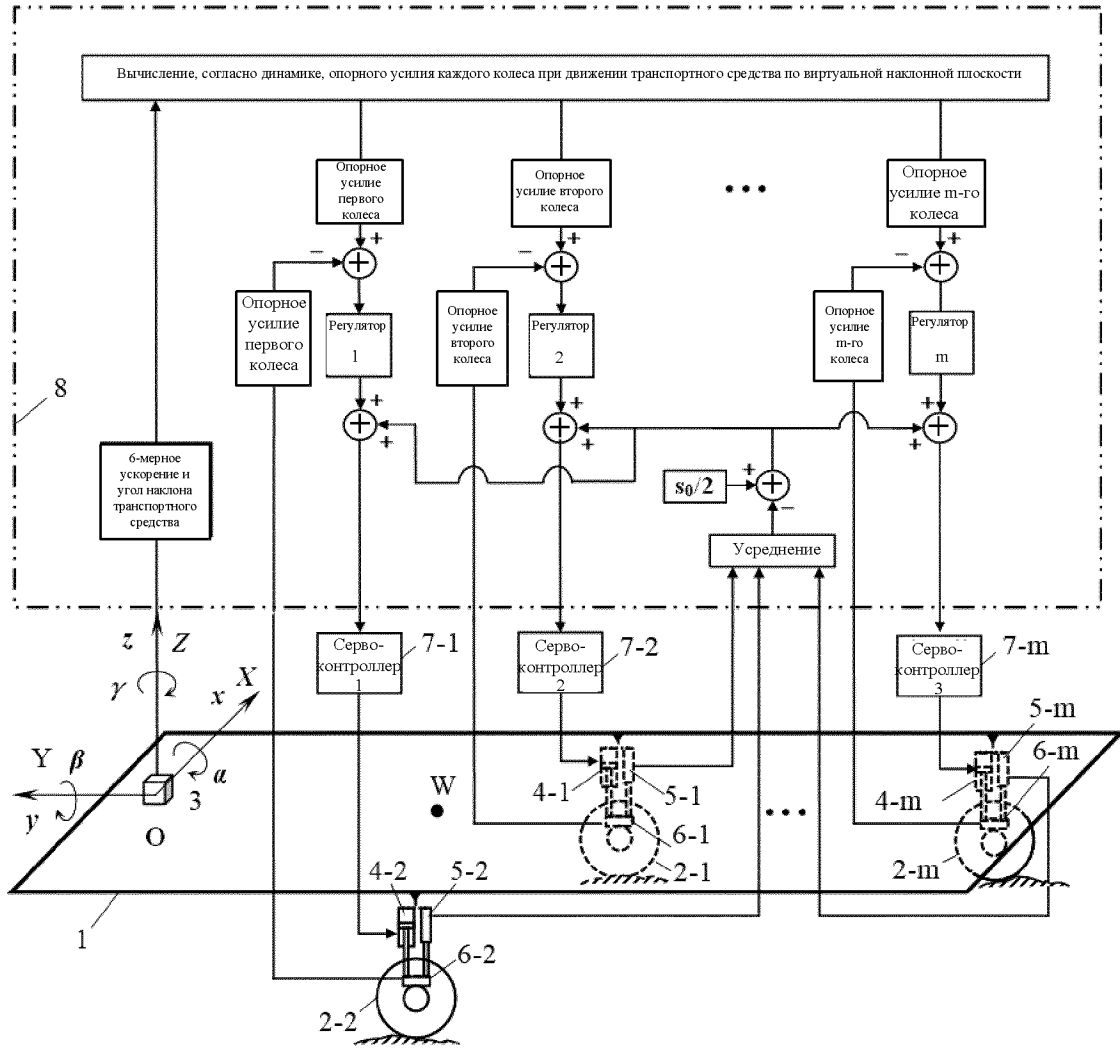
стремится к медианному значению.

5. Способ по п.2, в котором управление во внутреннем контуре и управление во внешнем контуре в конечном итоге осуществляют путем управления смещением каждого цилиндра подвески, причем смещение каждого цилиндра подвески при управлении во внутреннем контуре и смещение каждого цилиндра подвески при управлении во внешнем контуре накладывают друг на друга на входном конце сервоконтроллера каждого цилиндра подвески.

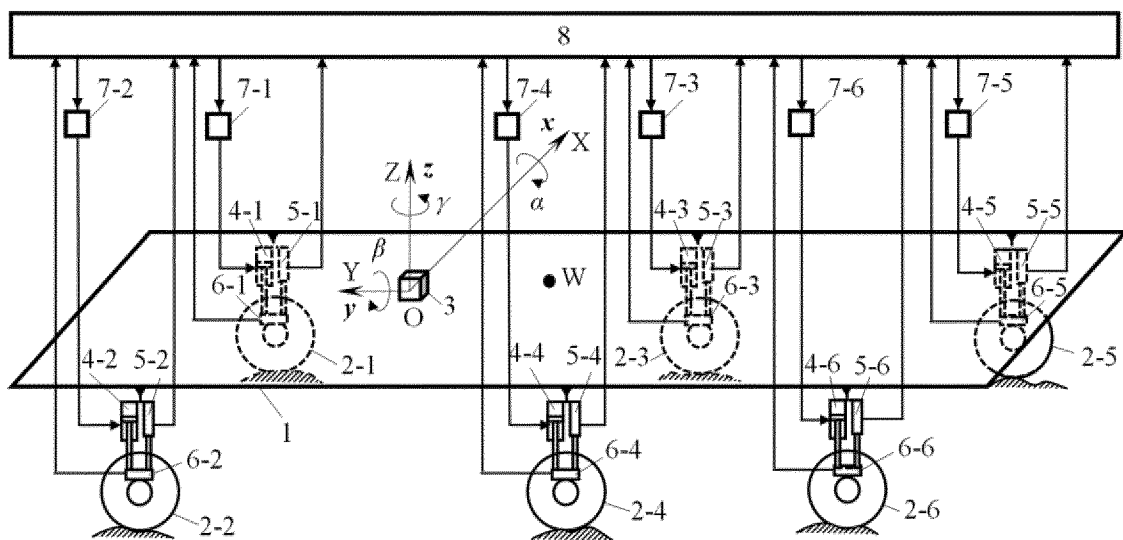
6. Устройство управления, в котором используется способ инерциального регулирования активной подвески транспортного средства на основании опорного усилия каждого колеса по любому из п.п.1-5, причем устройство содержит кузов (1) транспортного средства,  $m$  колес (2-1, 2-2, ..., 2- $m$ ), инерциальный измерительный блок (3), цилиндры (4-1, 4-2, ..., 4- $m$ ) подвески, соответствующие колесам, а также датчики (5-1, 5-2, ..., 5- $m$ ) смещения и датчики (6-1, 6-2, ..., 6- $m$ ) опорного усилия, сервоконтроллеры (7-1, 7-2, ..., 7- $m$ ) и электронный блок (8) управления, причем датчики (5-1, 5-2, ..., 5- $m$ ) смещения и датчики (6-1, 6-2, ..., 6- $m$ ) опорного усилия соответственно установлены в цилиндрах (4-1, 4-2, ..., 4- $m$ ) подвески и служат для измерения хода и опорного усилия каждого цилиндра подвески, при этом электронный блок (8) управления соединен с возможностью связи с инерциальным измерительным блоком (3), датчиками (5-1, 5-2, ..., 5- $m$ ) смещения и датчиками (6-1, 6-2, ..., 6- $m$ ) опорного усилия на цилиндрах подвески и с сервоконтроллерами (7-1, 7-2, ..., 7- $m$ ), которые соответственно соединены с цилиндрами (4-1, 4-2, ..., 4- $m$ ) подвески для приведения указанных цилиндров в действие.

7. Устройство по п.6, в котором датчики опорного усилия установлены в местах соединения цилиндров подвески с кузовом транспортного средства, или датчик опорного усилия установлен на каждом из контура штоковой полости и контура бесштоковой полости масляного цилиндра/газового цилиндра подвески.

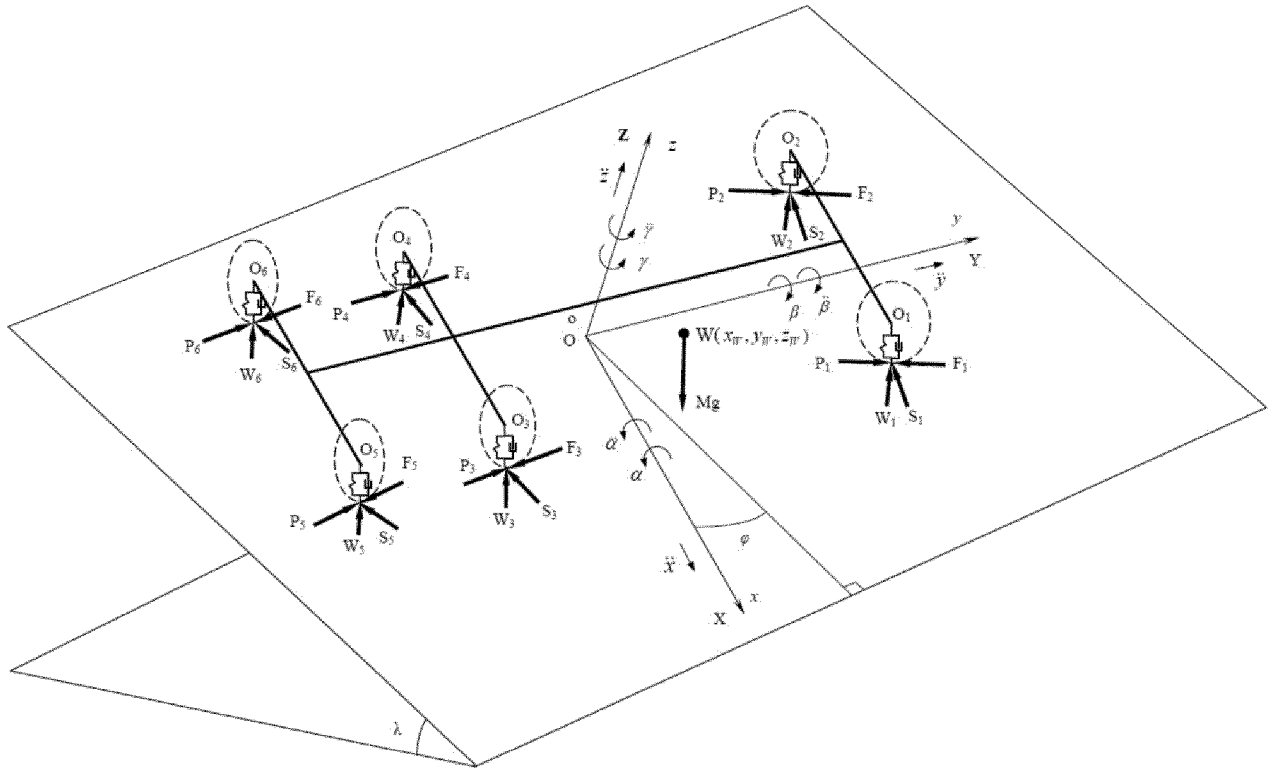




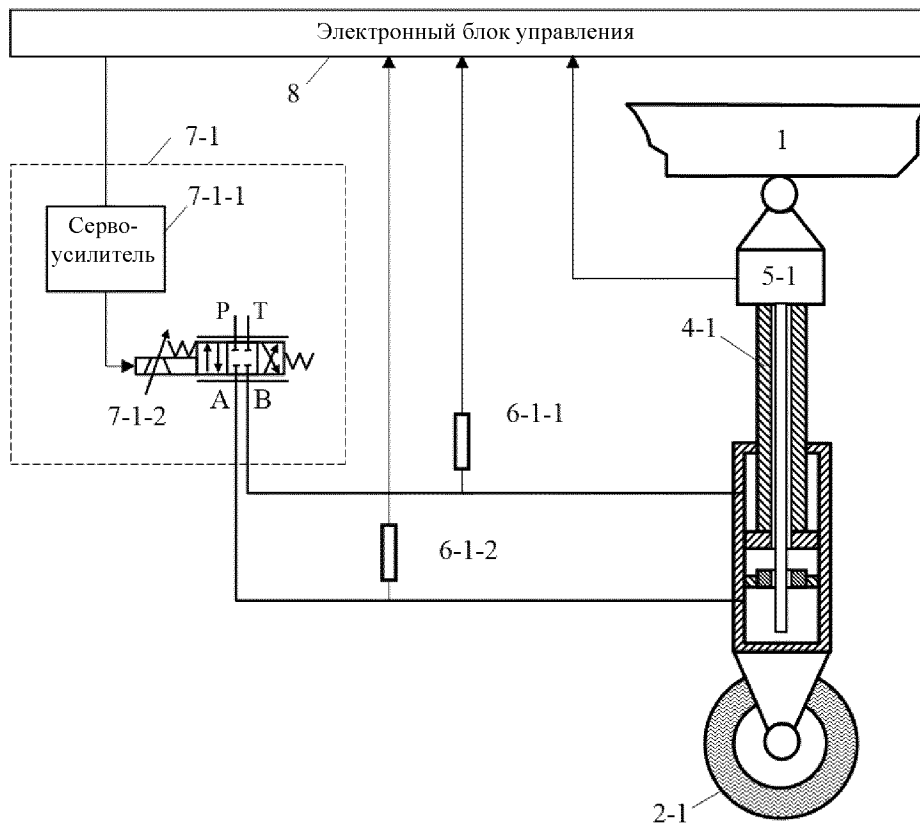
Фиг. 1



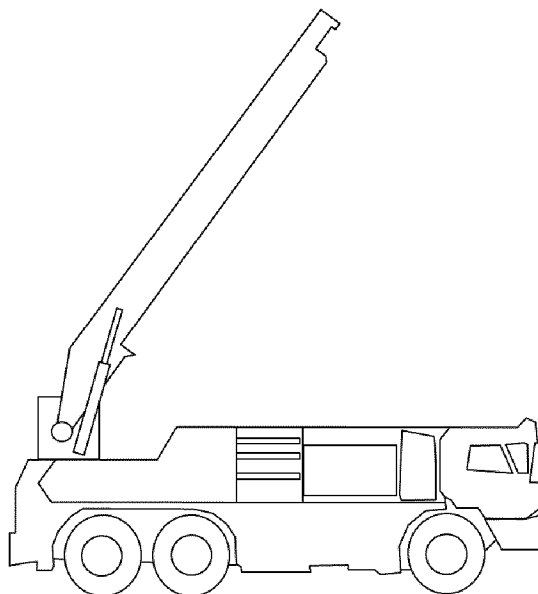
Фиг. 2



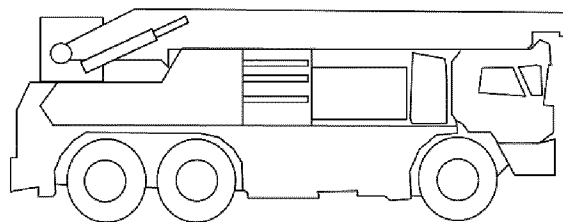
Фиг. 3



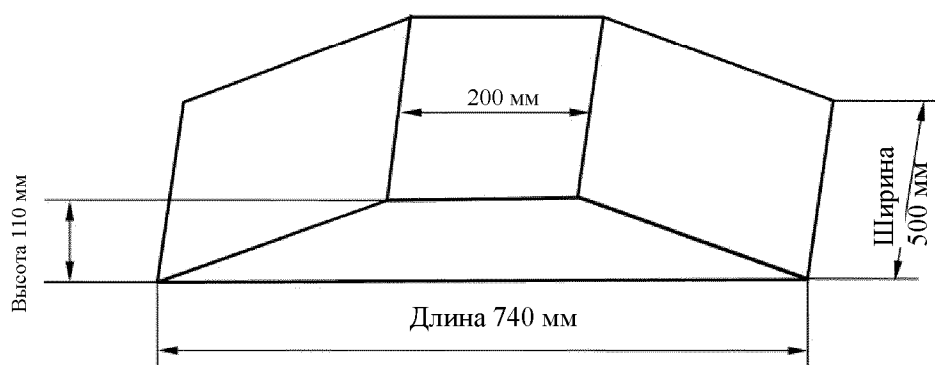
Фиг. 4



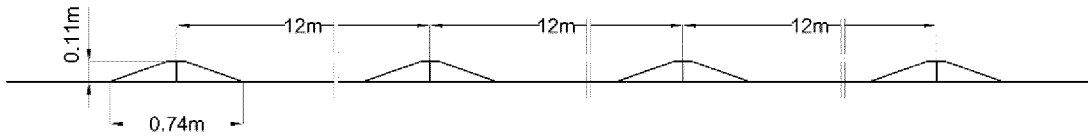
Фиг. 5



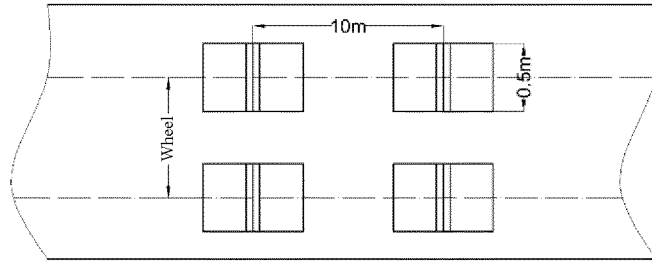
Фиг. 6



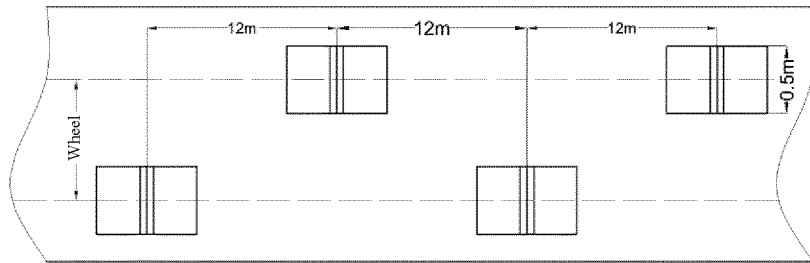
Фиг. 7



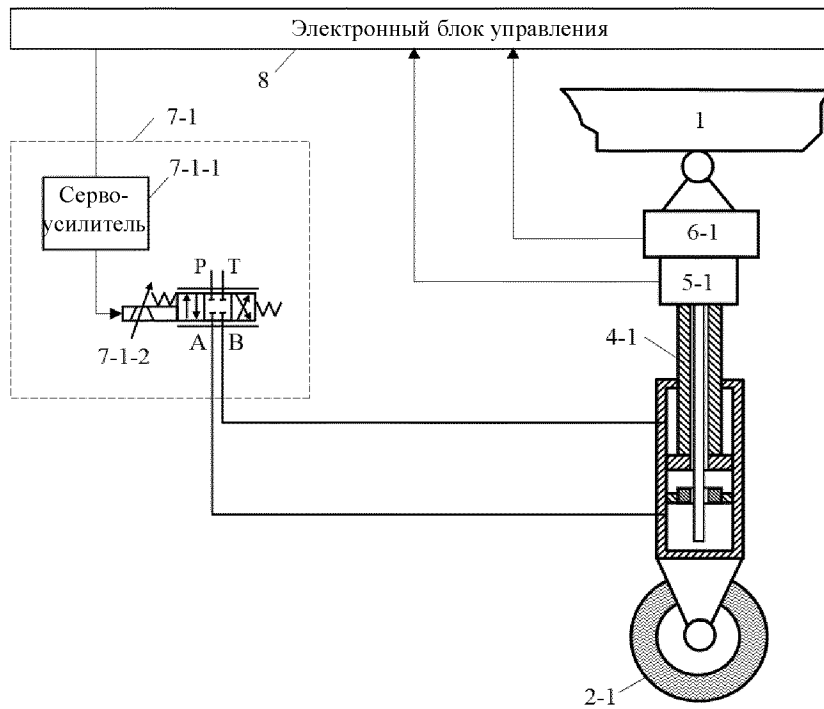
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11