

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное агентство по образованию**

**КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА «АВТОМОБИЛИ»**

**ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ  
И ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКАЯ ПОДВЕСКА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к выполнению лабораторных работ  
для студентов очной и заочной форм обучения  
специальности 190201

**КУРГАН 2005**

Кафедра «Автомобили»

Дисциплина «Конструкция автомобиля и трактора»  
Специальность 190201

Составил канд. техн. наук, доц. Петров А.П.

Утверждены на заседании кафедры 4 марта 2005 г.  
Рекомендованы методическим советом университета

“ \_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_ 2005 г.

**Цель работы.** Изучить принцип организации и особенности прогрессивной подвески. Изучить конструкции пневматических и гидропневматических подвесок и принцип регулирования жесткости и высоты пола.

**Оборудование.** Узлы и детали пневматической и гидропневматической подвесок, макеты, плакаты и схемы.

## 1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Совокупность устройств, обеспечивающих упругую связь между подрессоренной и неподрессоренными массами, называется подвеской. Подвеска уменьшает динамические нагрузки, действующие на подрессоренную массу. Она состоит из трех устройств: упругого, направляющего и демпфирующего.

Упругим устройством на подрессоренную массу передаются вертикальные силы, действующие со стороны дороги, уменьшаются динамические нагрузки и улучшается плавность хода.

Направляющее устройство — механизм, воспринимающий действующие на колесо продольные и боковые силы и их моменты. Кинематика направляющего устройства определяет характер перемещения колеса относительно несущей системы.

Демпфирующее устройство предназначено для гашения колебаний кузова и колес путем преобразования энергии колебаний в тепловую и рассеивания ее в окружающую среду.

Конструкция подвески должна: обеспечивать требуемую плавность хода; иметь кинематические характеристики, отвечающие требованиям устойчивости и управляемости автомобиля. Степень выполнения этих требований зависит от типа и конструкции самой подвески и ее отдельных устройств.

Зависимая подвеска характеризуется зависимостью перемещения одного колеса моста от перемещения другого колеса. Передача сил и моментов от колес на кузов при такой подвеске может осуществляться непосредственно упругими элементами — рессорами или с помощью штанг.

Независимая подвеска обеспечивает независимость перемещения одного колеса моста от перемещения другого колеса. По типу направляющего устройства независимые подвески делятся на рычажные, телескопические и подвески Макферсона. Рычаж-

ная подвеска — подвеска, направляющее устройство которой представляет собой рычажный механизм. В зависимости от количества рычагов могут быть двухрычажные и однорычажные подвески, а в зависимости от плоскости качания рычагов — поперечно-рычажные, диагонально-рычажные и продольно-рычажные. Телескопическая подвеска включает в качестве направляющего устройства телескопический механизм.

По типу упругого элемента подвески делятся на подвески с металлическими упругими элементами — рессорные, пружинные, торсионные и с неметаллическими — пневматические, гидропневматические и резиновые. Иногда используются и комбинированные подвески с несколькими типами упругих элементов, например рессорно-пружинные, рессорно-пневматические и др.

Выбор типа упругого элемента определяется конструктивной схемой, требованиями компактности и снижения массы. Неметаллические упругие элементы обеспечивают хорошую плавность хода, но имеют более высокую стоимость, чем металлические. При установке пневматических и гидропневматических подвесок создаются возможности регулирования высоты пола или дорожного просвета. Комбинированные упругие элементы состоят из основного и дополнительного элементов для корректирования упругой характеристики.

## 2. УПРУГАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Для удовлетворения требованиям плавности хода подвеска должна обеспечивать определенный закон изменения вертикальной реакции на колесо  $R_z$  в зависимости от прогиба  $f$  (рис. 1) — эта зависимость называется упругой характеристикой подвески.

В некотором диапазоне изменения нагрузок, близком статической  $R_{z\text{ cm}}$ , характеристики подвески должны обеспечивать оптимальную частоту колебаний: для легковых автомобилей 0,8...1,2 Гц, а для грузовых 1,2...1,9 Гц, что соответствует уровню колебаний человека при ходьбе. Частота собственных колебаний поддресоренной массы зависит от статического прогиба подвески  $f_{cm}$ :

$$\Omega = 1/2\sqrt{g / f_{\text{нò}}} .$$

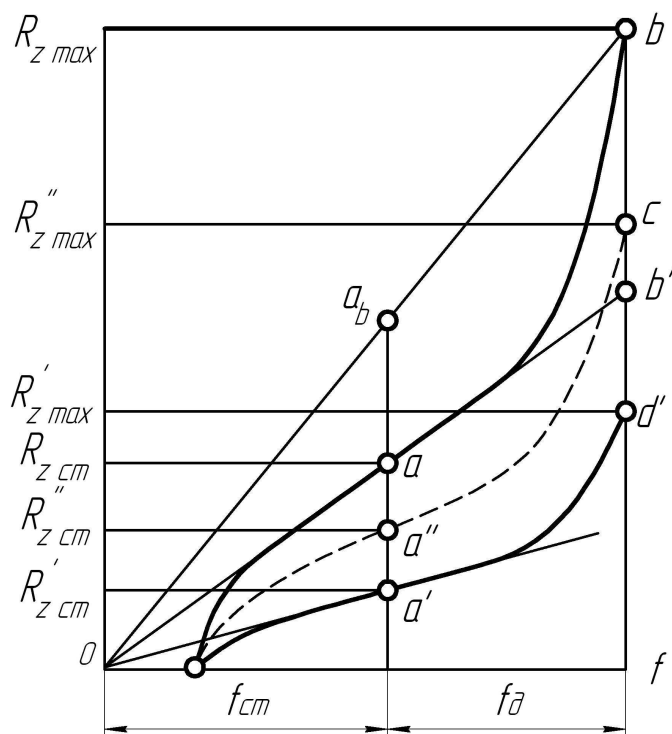


Рис. 1. Оптимальная форма упругой характеристики подвески

Упругая характеристика подвески должна проходить через точку  $a$  (рис. 1), соответствующую полной статической нагрузке и статическому прогибу, характеризующему заданную плавность хода. С другой стороны, для устранения опасности соприкосновения металлических деталей при максимальной деформации упругого элемента характеристика должна пройти через точку  $b$ , определяемую коэффициентом динамичности, причем  $K_D = 1,75 \div 2,5$ . Выполнить эти условия можно только при нелинейной характеристике. При линейной характеристике  $Ob$  коэффициент динамичности будет иметь заданное значение, но неудовлетворительную плавность хода (точка  $a_b$ ). И наоборот, при характеристике  $Ob'$  статический прогиб равен заданному, но возможны частые пробои, вызванные малой динамической емкостью подвески.

Динамическую емкость можно увеличить при возрастании динамического прогиба, однако это приведет к значительному увеличению хода подвески.

Под емкостью подвески понимают работу, которую необходимо затратить, чтобы деформировать полностью разгруженный упругий элемент (до соприкосновения деталей, ограничивающих деформацию упругого элемента).

Существуют различные способы обеспечения постоянства статического прогиба. Например, регулирование давления воздуха в пневматической подвеске или применение дополнительных упругих элементов, включающихся в работу при увеличении нагрузки.

Подвеска характеризуется статическим прогибом  $f_{cm}$ , динамическим прогибом  $f_d$  и коэффициентом динамичности  $K_D$ . Коэффициент динамичности  $K_D = R_{Zmax} / R_{Zcm}$ .

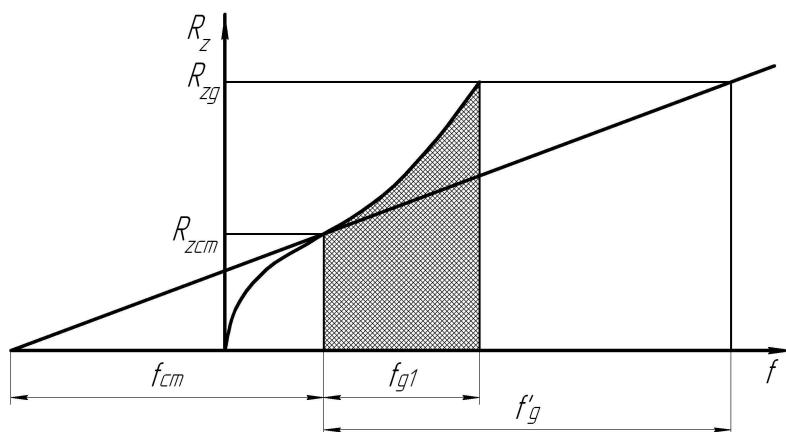


Рис. 2. Упругая характеристика подвески

Площадь под кривой упругой характеристики определяет динамическую энергоёмкость подвески, которая эквивалентна работе, необходимой для полной деформации упругого элемента (рис. 2). Для увеличения динамической энерго-

ёмкости упругая характеристика подвески должна быть прогрессивной, т. е. обеспечивать прогрессивное возрастание реакции  $R_{zД}$  при меньшем прогибе. Такой же коэффициент динамичности может быть получен при линейной характеристике, но при этом динамический прогиб  $f'_{Д}$  чрезмерно увеличивается, что трудно обеспечить конструктивно.

Ёмкость подвески ограничена жесткостью и максимальным ходом подвески. Возрастание хода подвески приводит к значительным перемещениям кузова относительно колес, что снижает устойчивость автомобиля, повышает требования к направляющему устройству подвески, усложняет условия работы рулевого привода и увеличивает пределы изменения дорожного просвета при независимой подвеске колес.

Динамический прогиб по отношению к статическому для легковых автомобилей составляет  $f_{Д} = 0,5 f_{cm}$ , для автобусов  $f_{Д} = 0,75 f_{cm}$ , а для грузовых автомобилей  $f_{Д} = f_{cm}$ .

В упругую характеристику подвески  $A—a—b$  включен буфер отбоя, снижающий ход подвески на величину  $OA$ .

При изменении полезной нагрузки автомобиля от минимума до максимума нагрузка от поддрессоренной части, определяющая  $f_{cm}$ , меняется на передней подвеске на 10...30 %, на задней подвеске легковых автомобилей на 45...60 %, грузовых на 250...400 %, автобусов на 200...250 %. Для сохранения оптимальной частоты собственных колебаний кузова при переменной нагрузке необходимо поддерживать постоянство статического прогиба подвески,

изменяя ее жесткость, т. е. жесткость подвески должна изменяться пропорционально приходящейся на нее нагрузке.

Значительное изменение массы оказывает большое влияние на упругую характеристику подвески. На рис. 1 приведены желаемые формы кривых характеристик для порожнего ( $Aa'$ ,  $d$ ) и полунатурного ( $Aa''$ ,  $c$ ) автомобиля. Необходимо осуществить изменения жесткости с изменением нагрузки.

В общем случае для сохранения постоянства собственной частоты при изменении нагрузки на подвеску необходимо иметь нелинейную характеристику, которая удовлетворяла бы условию

$$\frac{R_z}{c_\delta} = f = f_{\tilde{n}\delta} = const, \quad (1)$$

где  $c_\delta = dR_z / df$  — жесткость подвески в произвольной точке характеристики.

Уравнение (1) можно переписать в виде  $dR_z / R_z = df / f$ . Интегрируя это выражение и используя начальные условия, при которых  $f = f_0$  и  $R_z = R_{z0}$ , получим  $\ln R_z = (f / f_0) + c$ . Откуда  $c = \ln R_{z0} - 1$ . Тогда  $R_z = R_{z0} e^{(f / f_0) - 1}$ .

Таким образом, для того чтобы кузов автомобиля имел независимо от нагрузки постоянную частоту собственных колебаний, характеристика подвески должна изменяться по закону показательной функции.

Существует ряд способов получения нелинейной упругой характеристики желаемого вида. Для того чтобы при линейной характеристике основного упругого элемента получить заданную нелинейную характеристику подвески, обычно применяют несколько упругих элементов. Дополнительный упругий элемент может применяться для увеличения емкости подвески или для получения заданного статического прогиба.

Регулирование жесткости подвески в зависимости от массы наиболее просто может быть осуществлено при применении пневматического упругого элемента.

### 3. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УПРУГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Такие упругие элементы целесообразно применять в первую очередь на автомобилях, масса поддресоренной части которых меняется значительно (грузовые автомобили), а требования к плавности хода высоки (автобусы). Путем изменения давления воздуха в пневматическом элементе можно регулировать жесткость подвески и даже добиться того, что при различной нагрузке статический прогиб элемента и соответственно частота собственных колебаний поддресоренной массы оставались бы постоянными. При этом появляется возможность регулировать высоту пола (автобусы), грузовой платформы или прицепного устройства относительно дороги либо величину дорожного просвета (как правило, при независимой подвеске).

Представим пневматический упругий элемент в виде цилиндра с поршнем (рис. 3). При некоторой расчетной нагрузке автомобиля, называемой статической, в цилиндре установится статическое давление -  $P_c$ , которому будет соответствовать объем воздуха  $V_c$  и высота столба воздуха  $h_c$ . При работе подвески поршень будет совершать возвратно-поступательные движения, вследствие чего текущее значение объема воздуха и его давления будет изменяться. На основании законов термодинамики, сделав некоторые допущения, можно принять, что перечисленные выше параметры будут связаны следующей зависимостью:

$$P_c V_c^n = P_i V_i^n = const, \quad (2)$$

где  $n$  — показатель политропы, зависящий от условий изменения объема воздуха (в данном случае постоянен).

Выразим текущее значение объема воздуха через площадь сечения цилиндра и текущее значение высоты столба воздуха  $h$ . Подставим его в равенство (2), которое решим относительно текущего давления воздуха:

$$P_i = P_c \left( \frac{h_{\bar{n}}}{h_i} \right)^n. \quad (3)$$



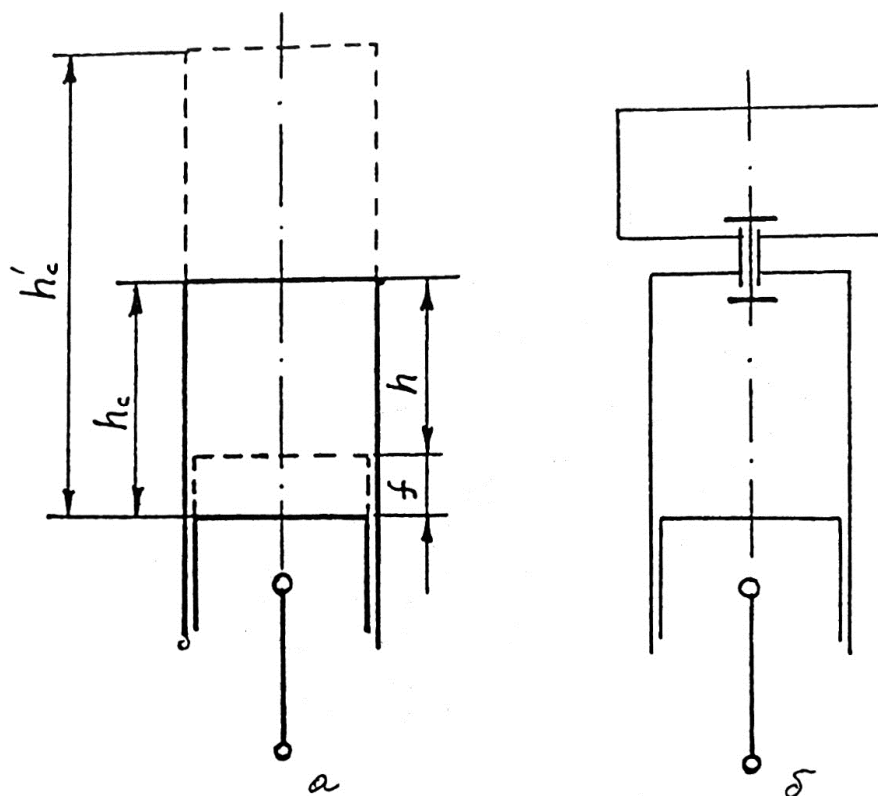


Рис. 3. Модели пневматического упругого элемента

Обозначим прогиб упругого элемента  $f$  как долю статической высоты воздушного столба:  $f = kh_c$ , а текущее значение высоты столба вычислим как разность:  $h_i = h_c - f = h_c(1 - k)$ .

Подставим полученное значение высоты в (3) и получим

$$P_i = P_c \left( \frac{1}{1 - k} \right)^n. \quad (4)$$

По этой зависимости построим график (кривая 1, шкала  $k$  на рис. 4).

Из формулы (4) и графика следует, что жесткость упругого элемента (тангенс угла наклона касательной к кривой) сильно зависит от коэффициента  $k$ , то есть от того, какая доля полного объема элемента используется в качестве рабочего. Если теоретически предположить, что весь объем элемента используется в качестве рабочего ( $k = 1$ ), то давление и жесткость, упругого элемента при максимальном ходе сжатия достигнут бесконечности.

Рассмотрим первый, наиболее распространенный случай применения пневмоэлементов на автомобилях, имеющих на борту

источники сжатого воздуха для питания пневмосистем с давлением обычно до 0,6 МПа.

Выбирая площадь поперечного сечения цилиндра, обычно руководствуются возможным по техническим причинам рабочим

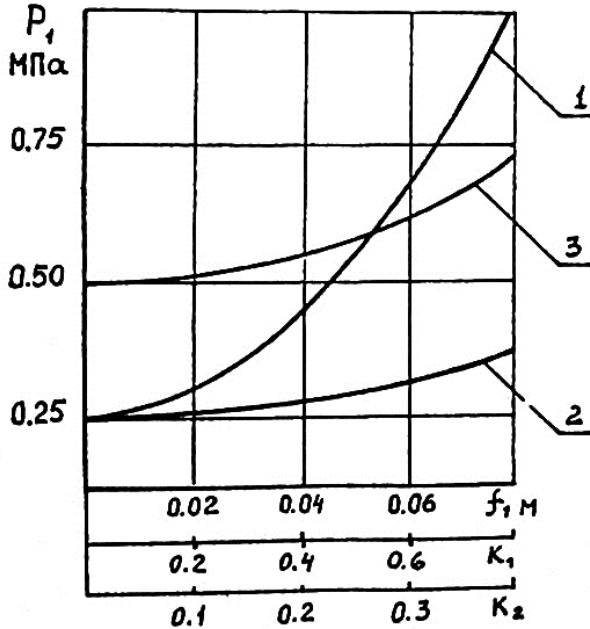


Рис. 4. Характеристики жесткости пневматического упругого элемента

1, 2 - при  $K_1$  и  $K_2$  соответственно;  
3 - при  $Pc_3 = 2Pc_2$

давлением сжатого воздуха в пневмосети автомобиля и величиной силы, которую должен создавать упругий элемент. Прогиб  $f$  упругого элемента определяется ходом подвески и отношением перемещения колеса к прогибу упругого элемента.

Таким образом, диаметр пневматического упругого элемента и его прогиб определяются основными параметрами подвески и не могут произвольно меняться в сколько-нибудь широких пределах. В итоге для формирования характеристики жесткости пневмоэлемента может использоваться только высота

столба воздуха в статическом положении, но этого оказывается вполне достаточно. Увеличив высоту  $h_c$  до  $h_n^1$  (рис. 3 а), можно значительно уменьшить величину коэффициента  $k$  при том же прогибе подвески и существенно скорректировать характеристику жесткости (кривая 2, шкала  $k$  на рис. 4). Так, уменьшив относительный рабочий объем в 2 раза, можно снизить давление в пневмоэлементе при максимальном прогибе примерно в 2,5 раза, а жесткость — примерно в 6 раз.

Если вспомнить, что ранее мы ввели высоту столба  $h$  для обозначения объема воздуха, то станет ясно, что для корректировки характеристики упругого элемента не обязательно увеличивать его высоту, а достаточно присоединить к нему дополнительный резервуар с воздухом.

Из вышеприведенных рассуждений вытекает способ регулирования характеристики жесткости пневматического упругого элемента изменением его объема. Для этого можно установить внутри пневмоэлемента, например, на входе в дополнительную емкость, как показано на рис. 3 б, перегородку с управляемым клапаном. При открытии клапана упругий элемент будет работать по пологой «мягкой» характеристике (линия 3 на рис. 4), а после его закрытия перейдет на более крутую «жесткую» (линия 1 на рис. 4).

Вышеизложенные рассуждения сделаны при условии постоянства статической нагрузки на подвеску. Предположим, что масса автомобиля, приходящаяся на подвеску, после его загрузки увеличилась вдвое. Следовательно, вдвое увеличилась сила, воспринимаемая пневмоэлементами, и давление в них. При этом несколько увеличится и прогиб подвески. Теперь, если при помощи компрессора (или ресивера пневмосистемы автомобиля) закачать в пневмоэлемент нужное количество сжатого воздуха, то можно восстановить прогиб подвески, а следовательно, и статическую высоту столба воздуха  $h_c$  до первоначальных значений. Поскольку в формуле (3) соответственно в 2 раза увеличится  $P_c$ , а  $h$  и  $n$  остаются неизменными, то это свидетельствует об увеличении вдвое жесткости упругого элемента при любых исходных значениях прогиба, то есть при двукратном увеличении массы частота собственных колебаний не изменится. Таким образом, если на автомобиле установить автоматические следящие устройства, реагирующие только на прогиб подвески и управляющие подачей (сбросом) воздуха в пневмоэлементы до восстановления этого прогиба, то это позволит сохранять частоту собственных колебаний автомобиля независимо от его весового состояния.

Рассмотрим второй случай применения пневматических упругих элементов, когда давление в них не регламентируется давлением пневмосети автомобиля (последней может и не быть вовсе), а зависит только от ряда конструктивных и экономических ограничений (прочность, герметичность, стоимость изготовления и эксплуатации и т.п.).

Как уже отмечалось, форма характеристики жесткости пневмоэлемента существенно зависит от коэффициента использования объема  $k$ . При больших  $k$  происходит быстрое нарастание давле-

ния в пневмоэлементе и соответствующее увеличение его жесткости. Анализируя характеристику жесткости при различных начальных статических значениях давления  $P_c$  (при этом диаметр поршня определяется нагрузкой на него) и варьируя  $k$ , можно подобрать характеристику (или ее участок), близкую к идеальной. Такая характеристика достигается в области довольно больших давлений — до 20 МПа.

По виду упругого элемента пневматические подвески могут быть разделены на подвески с резинокордными и телескопическими упругими элементами. Схемы подвесок с пневматическим упругим элементом баллонного типа, диафрагменным упругим элементом и рукавного типа приведены на рис. 5, 6 и 7, и с гидropневматическим на рис. 8.

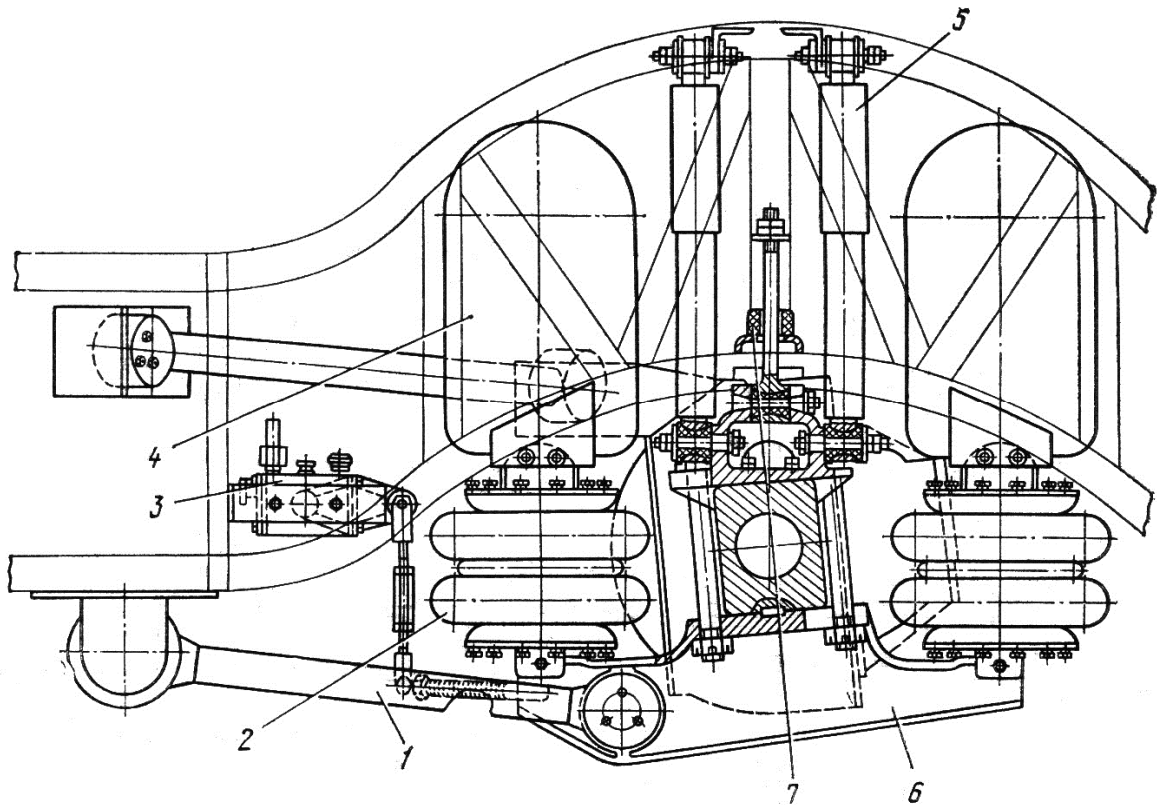


Рис. 5. Зависимая пневматическая баллонная подвеска автобуса: 1 — тяга; 2 — баллон; 3 — регулятор; 4 — резервуар; 5 — амортизатор; 6 — балка; 7 — буфер отбоя

Как уже указывалось, пневматические упругие элементы подвергаются регулированию с целью поддержания постоянства величины статического прогиба подвески и, как следствие, уровня

пола. На рис. 5 видно, что пневмобаллоны 2 снабжены дополнительными резервуарами 4 и установлены между рамой и мостом. На кузове установлен регулятор 3, который соединен с неподрессоренной частью подвески при помощи рычага и тяги. При увеличении нагрузки на автомобиль пневмобаллон сжимается, опуская кузов (раму). Вследствие этого рычаг регулятора поворачивается и открывает клапан, соединяющий магистрали пневмосистемы автомобиля и пневмобаллоны. В результате давление в пневмобаллонах повышается до тех пор, пока кузов не поднимется на прежний уровень; при этом клапан регулятора закроется. В случае уменьшения нагрузки на автомобиль рычаг регулятора повернется в другую сторону, и соответствующий клапан соединит баллоны с атмосферой.

Для сокращения расхода воздуха и исключения срабатывания при частых колебаниях кузова регулятор обычно снабжается устройством запаздывания. Таким образом, вся система регулирования работает в основном при статическом изменении нагрузки.

В результате регулирования давления в пневмоэлементах характеристика жесткости подвески представляются семейством кривых, показанных на рис. 6.

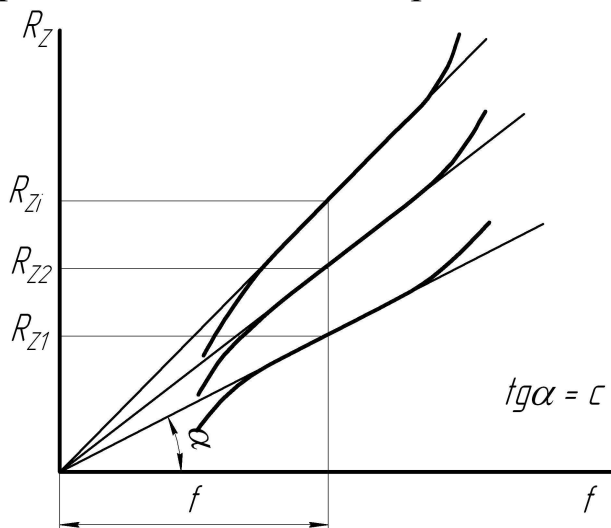


Рис. 6. Характеристика жесткости подвески с регулированием по постоянству прогиба

Сжатый воздух или газ в баллоне находятся под давлением 0,5—0,8 МПа. С увеличением осадки баллона его внутренний объем уменьшается, а давление воздуха и жесткость подвески увеличиваются. Наличие дополнительного резервуара компенсирует увеличение давления воздуха в баллоне при его осадке и уменьшает жесткость подвески. При надлежащем подборе объема дополнительного резервуара для заданного баллона и изменении внутреннего давления можно обеспечить постоянство

внутреннего давления можно обеспечить постоянство

статического прогиба и высоты кузова автомобиля при изменяющейся статической нагрузке на подвеску.

Пневмобаллоны долговечны, компактны, обеспечивают высокую герметичность. Их диаметр, как отмечалось выше, определяется, исходя из внутреннего давления и нормальной нагрузки, а высота пропорциональна требуемому ходу подвески. В результате объем воздуха в баллоне оказывается недостаточным для получения нужной частоты собственных колебаний подвески. Поэтому обычно и устанавливается дополнительный жесткий резервуар с примерно трехкратным по отношению к баллону объемом воздуха. Это же относится и к диафрагменным упругим элементам.

Показанные на рис. 7 и рис. 8 диафрагменный и рукавный элементы имеют то преимущество перед пневмобаллонами, что за счет специально спрофилированных жестких поверхностей поршня и юбки корпуса, с которыми взаимодействует оболочка при ходах подвески, они могут в гораздо более широких пределах изменять эффективную (рабочую) площадь (характеризуемую радиусом  $R_{\text{Э}}$  на рис. 8) и, следовательно, влиять на жесткостную характеристику подвески. Так, например, для обеспечения требуемой малой жесткости при номинальной статической нагрузке на подвеску диаметр поршня в сечении, на которое приходится граница контакта оболочки, делается наименьшим. Этот диаметр, как показано на левой части рис. 8, постепенно увеличивается при ходах поршня на сжатии и отбое. Выбор формы поршня ограничивается соображениями обеспечения устойчивости оболочки и ее долговечности.

Диафрагменные упругие элементы обеспечивают более низкую частоту. Такие упругие элементы обычно применяются на легковых автомобилях и автобусах. К недостаткам диафрагменного упругого элемента по сравнению с баллонным следует отнести меньшую грузоподъемность при одинаковых - давлении воздуха и габаритных размерах, значительное увеличение жесткости при динамическом нагружении.

Преимуществами всех пневматических подвесок является отсутствие трения в упругом элементе и незначительная масса, а также меньший уровень шума. К недостаткам таких подвесок следует отнести необходимость автономного расположения направляющего и гасящего устройств подвески, высокую стои-

мость и сложность конструкции, а также ограниченную долговечность компрессора, регулятора, клапанов и других элементов подвески.

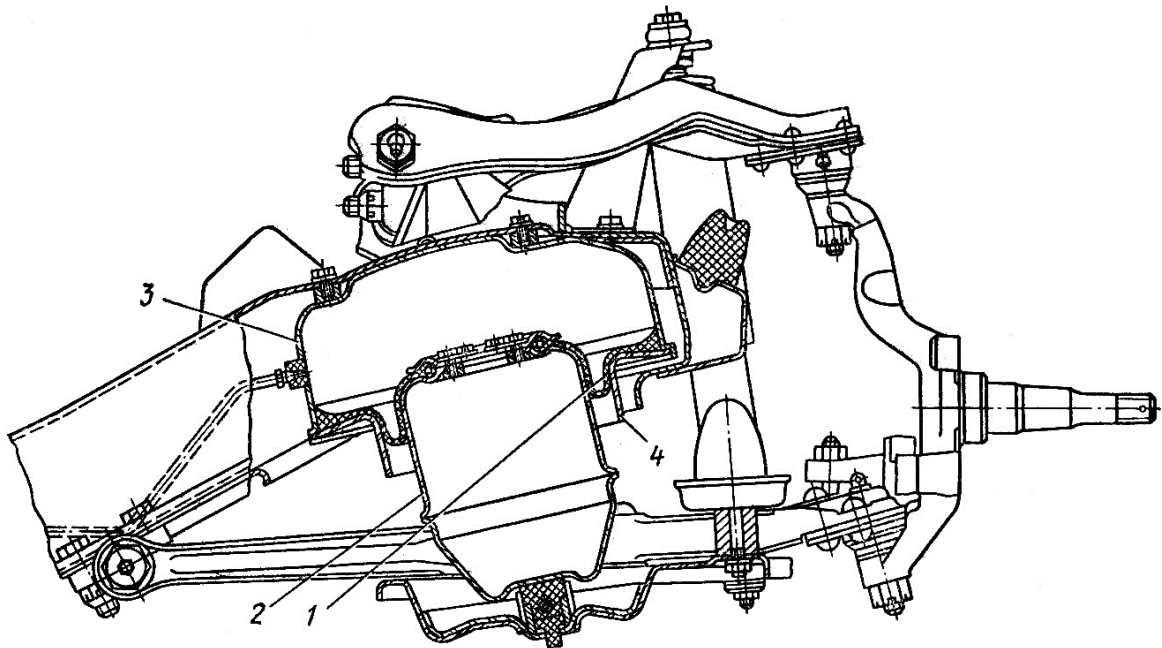


Рис. 7. Передняя пневматическая подвеска автомобиля с диафрагменным упругим элементом:  
1 – резиновая диафрагма; 2 – поршень; 3 – корпус; 4 направляющая

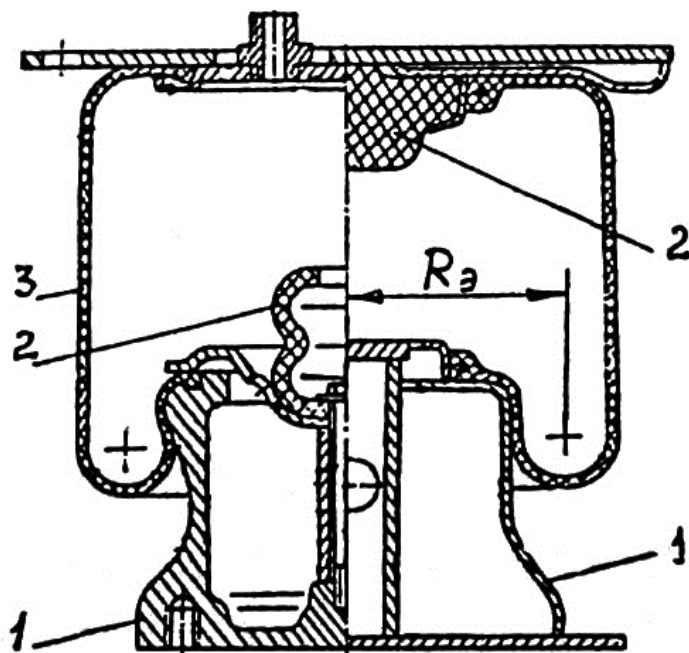


Рис. 8. Пневматический упругий элемент рукавного типа

На легковых автомобилях широкое применение находят упругие амортизационные стойки, обеспечивающие хорошие компоновочные возможности. Они включают в себя гидравлический телескопический амортизатор и практически соосный, установленный между наконечником штока и корпусом, упругий элемент.

На рис. 9 показана амортизационная стойка

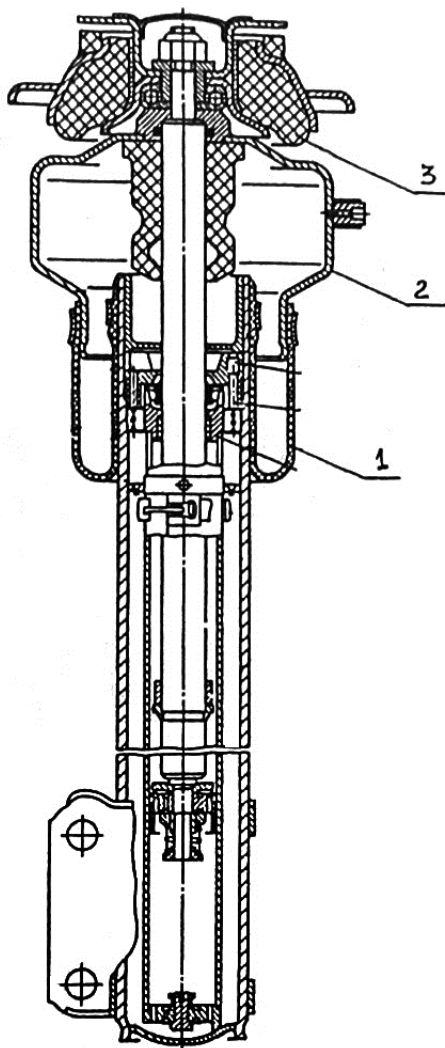


Рис. 9. Амортизаторная стойка с рукавным пневматическим элементом

с рукавным пневматическим упругим элементом. Оболочка 1 пневмоэлемента закреплена на цилиндрическом корпусе амортизатора и обкатывается по нему при ходах подвески. С другой стороны оболочка соединена с металлическим воздушным резервуаром 2. Последний закреплен на штоке и поворачивается вместе с ним в подшипниковой опоре стойки 3. Давление воздуха в пневмоэлементе, а следовательно, и его высота могут регулироваться при помощи установленных на автомобиле электрического компрессора и электропневматического клапана.

#### 4. ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УПРУГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

В гидропневматическом упругом элементе используется газ или воздух под давлением, более высоким, чем в пневматическом. Поэтому конструктивно упругий элемент выполняется в виде металлического цилиндра, сжатие газа в котором осуществляется перемещающимся поршнем. Цилиндр заполняется маслом таким образом, чтобы газ не контактировал непосредственно с поршнем, т. е. передача давления от поршня к газу осуществляется через масло. Масло обеспечивает демпфирование колебаний при пере-



текании его через соответствующим образом расположенные калиброванные отверстия и клапаны.

К преимуществам гидропневматических упругих элементов относятся: нелинейность характеристики, компактность, обусловленная высоким давлением газа и объединением в одном узле упругого элемента и амортизатора; возможность регулирования высоты кузова автомобиля над полотном дороги. Недостатком является более высокая стоимость, связанная с необходимостью изготовления деталей с высокой точностью.

Гидропневматические упругие элементы можно классифицировать следующим образом: с постоянной или переменной массой газа; без противодействия и с противодействием; нерегулируемые или регулируемые.

К упругим элементам с постоянной массой газа (обычно азота) относятся все нерегулируемые упругие элементы или элементы, регулирование которых осуществляется за счет выпуска (накачки) масла. Этот тип упругих элементов используется наиболее часто. Упругие элементы с переменной массой газа всегда регулируемые, причем регулирование осуществляется за счет изменения массы газа, а объем жидкости не изменяется. Упругие элементы без противодействия наиболее просты по устройству. Основная полость *I* с газом располагается в цилиндре (рис. 10 *а*), штоке (рис. 10 *б*) или в сферической головке (рис. 10 *в, г*) и конструктивно может быть выполнена отдельно от цилиндра. Упругие элементы с противодействием (рис. 10 *д, е*) имеют вторую полость с газом — полость противодействия *II*, расположенную в штоке. Наличие противодействия позволяет изменять характеристику упругого элемента в широких пределах за счет обеспечения определенного сочетания объема и давления газа в основной полости и полости противодействия. Калиброванные отверстия, используемые для демпфирования колебаний, могут располагаться в поршне, в перегородках основной полости или полости противодействия. Для получения несимметричной характеристики часть отверстий перекрывается клапанами.

Газ, находящийся в контакте с жидкостью, частично растворяется в ней при высоком давлении и выделяется из нее при низком. Поэтому для регулируемых подвесок применяются упругие элементы с поршневым или гибким разделителем, чтобы исклю-

чить утечки газа вместе с жидкостью во время регулирования. Давление с обеих сторон разделителя примерно одинаковое, поэтому действующие на него во время работы нагрузки невелики.

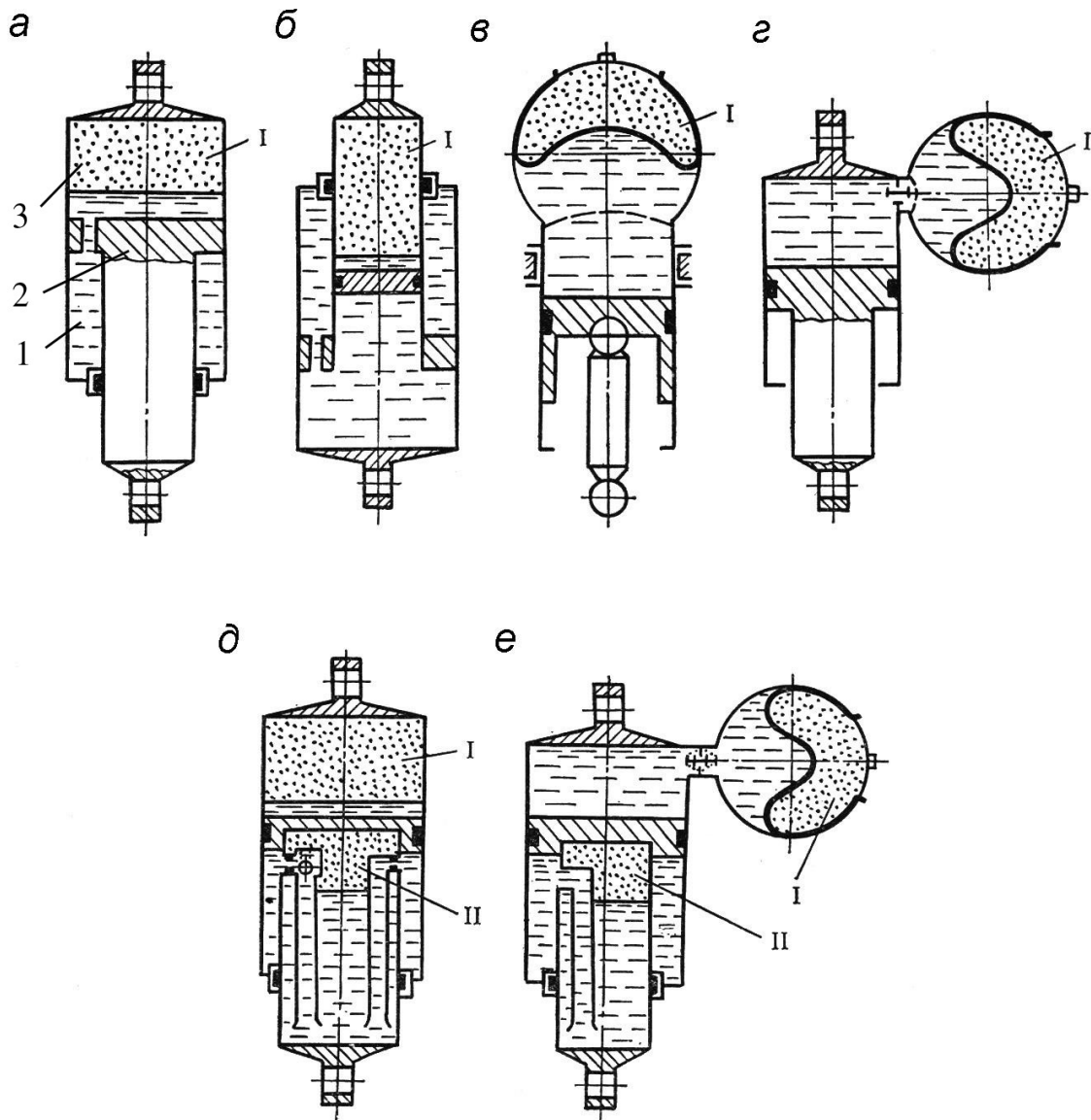


Рис. 10. Схемы гидропневматических упругих элементов без противодействия (а...г) и с противодействием (д, е)

Основное достоинство гидропневматических упругих элементов заключается в их прогрессивной характеристике. Как уже отмечалось, при больших коэффициентах использования объемов пневмоэлемента и весьма высоких давлениях газа характеристика жесткости может быть приближена к идеальной (рис. 2). Теоретически и в этих упругих элементах возможно регулирование их характеристики путем изменения массы сжимаемого газа (накачи-

вание и выпуск). Из-за применения газа под высоким давлением в сравнительно небольшом объеме пневмоэлемента содержится достаточно большая масса газа, поэтому энергоемкость гидропневматических упругих элементов значительно выше, чем просто пневматических, и они гораздо более компактны. Вместе с тем изменение прогиба таких упругих элементов при больших перепадах нагрузок на автомобиль может быть велико, что влечет за собой значительное изменение высоты кузова над дорогой. Для устранения этого недостатка применяют регулирование высоты столба жидкости между поршнем и мембраной.

Гидропневматический элемент, схема которого показана на рис. 10 *a*, включает в себя гидравлический цилиндр *I* с поршнем *2* и толкателем (шатуном, штоком и т.п.) и пневматический упругий элемент *3* (пневмокамеру), который размещается в самом цилиндре или отдельно от него, а также может иметь гидравлическую систему регулирования.

Упругие элементы этого типа с одной-двумя пневмокамерами, давление от которых воздействует на одну сторону поршня, называют элементами без противодействия (показаны на рис. 10 *a* - *г*). Пневмоэлементы с противодействием, помимо основной полости с газом, имеют вспомогательную полость, давление от которой действует на тыльную сторону поршня, и обычно она размещается в штоке (рис. 10 *д*, *е*). Наличие противодействия позволяет изменять характеристику жесткости упругого пневмоэлемента. Так, например, в гидропневмоэлементе, показанном на рис. 10 *е*, жидкость в гидроцилиндре под поршнем в положении, соответствующем статическому прогибу подвески, находится под определенным давлением и сжимает газ в полости *II* также под поршнем. При ходе сжатия давление газа в полости *I* и соответственно жидкости над поршнем прогрессивно возрастает, а в цилиндре под поршнем — падает. Последнее объясняется тем, что объем цилиндра под поршнем увеличивается, а поскольку жидкость практически несжимаема и нерастягиваема, то газ в полости *II*, увеличиваясь в объеме, соответственно уменьшает давление в цилиндре. Варьируя количеством газа во вспомогательной полости *II*, можно влиять на характеристику изменения давления газа и жидкости под поршнем.

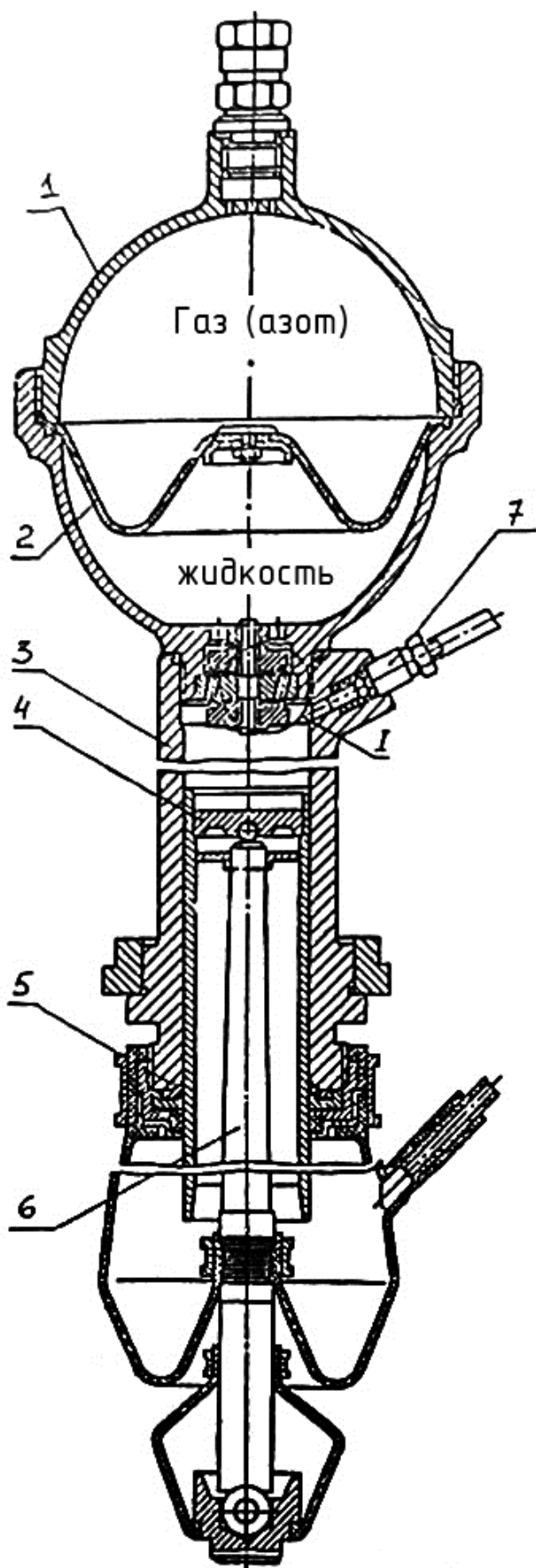


Рис. 11. Гидропневматический упругий элемент без противодействия

При перемещении поршня в гидроцилиндре происходит перекачивание жидкости. На путях тока жидкости обычно устанавливаются дроссели и клапаны, оказывающие сопротивление перекачиванию, и это обеспечивает гашение колебаний поршня, то есть реализуются функции амортизатора.

Показанный на рис. 11 гидропневматический упругий элемент имеет сферический пневмоэлемент 1, в котором газ (азот) и жидкость (смазывающий материал) разделены гибкой резино-кордной мембраной 2. Максимальное расширение газа и ход мембраны ограничиваются касанием последней стенок нижней полусферы.

Гидравлический цилиндр 3 присоединен непосредственно к пневмоэлементу. В цилиндре перемещается поршень 4, приваренный к длинной цилиндрической направляющей, скользящей в уплотнениях 5 вдоль цилиндра. Качающийся шток 6 со сферическими упорами на концах передает усилие от поршня на упорный элемент подвески (рычаг, стойку и т.п.). Штуце-

ром и шлангом 7 упругий элемент связан со следящей гидросистемой автомобиля, при работе которой изменяется высота столба жидкости над поршнем 4. При этом регулируется прогиб подвески (высота автомобиля), но ее характеристика жесткости остается неизменной. Система регулирования прогиба подвески по принципу действия аналогична пневматической с той лишь только разницей, что вместо компрессора и ресиверов применяются гидронасос высокого давления и гидроаккумулятор. На пути потока жидкости между гидроцилиндром и гидропневмоэлементом установлен двусторонний клапан амортизатора.

К недостаткам рассматриваемых упругих элементов следует отнести главным образом их высокую стоимость из-за сложности конструкции и необходимой высокой точности изготовления ряда деталей. Кроме того, как уже отмечалось, в гидропневматических элементах практически невозможно принудительно регулировать их жесткость путем изменения количества рабочего тела — газа, как это делается в пневматических упругих элементах. Такая регулировка была бы полезна, например, при высоких скоростях движения, при разбитом дорожном покрытии, на грунтовых дорогах и т.п.

Регулирование уровня пола, являющееся достоинством всех пневматических подвесок, может быть реализовано и в гидропневматической подвеске. Оно осуществляется путем изменения количества масла в зоне между мембраной и поршнем. Если с увеличением нагрузки кузов автомобиля опускается, то соединенный со стабилизатором регулятор уровня (рис. 12) обеспечивает подачу масла под давлением 15,0—17,5 МПа из гидравлического аккумулятора в цилиндр через специальное отверстие. При уменьшении загрузки автомобиля регулятор обеспечивает слив масла в резервуар, не находящийся под давлением.

На рисунке 13 приведен еще один вариант гидропневматического упругого элемента без противодействия. При перемещении колеса вверх поршень 1 упругого элемента вытесняет жидкость из цилиндра 2 в гидропневматический резервуар 5. Гашение колебаний обеспечивается использованием дополнительных сопротивлений перетеканию жидкости из цилиндра в сферу и обратно через клапаны, расположенные в диске 3. Во второй половине динамического хода сжатия демпфер 6 входит в стакан поршня 1 и

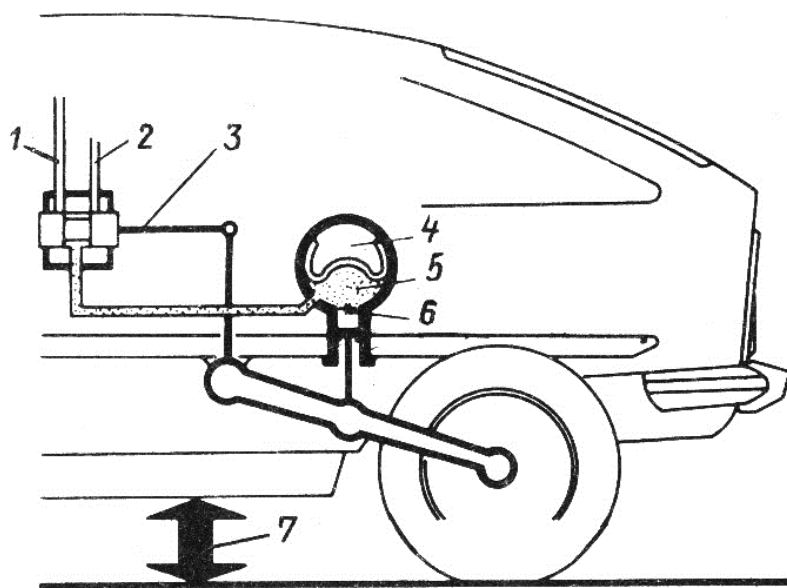


Рис. 12. Схема регулирования уровня кузова:

1 — подача гидравлической жидкости под давлением; 2 — слив в резервуар; 3 — механический привод регуляторов высоты; 4 — газ; 5 — жидкость; 6 — амортизаторный клапан; 7 — регулируемая высота

выжимает жидкость из стакана через зазоры между ними, а также перепускной клапан 7, который открывается при определенном давлении жидкости. Таким образом, пневмогидравлический упругий элемент поршневого типа обладает свойствами упругого элемента, ограничителя хода сжатия и гасителя колебаний.

Автоматическое регулирование положения кузова осуществляется посредством компактного гидравлического насоса. В результате лучшего уплотнения жидкости, чем газа, применение гидравлических насосов взамен компрессора дает возможность значительно повысить рабочее давление в упругом элементе (до 20 МПа), и, следовательно, уменьшить его габаритные размеры и массу.

**Пневмогидравлические подвески автомобилей БелАЗ.** На карьерных автомобилях-самосвалах и автопоездах БелАЗ грузоподъемностью 30...65 т применяется унифицированная пневмогидравлическая подвеска, зависимая как для передней оси, так и ведущего моста.

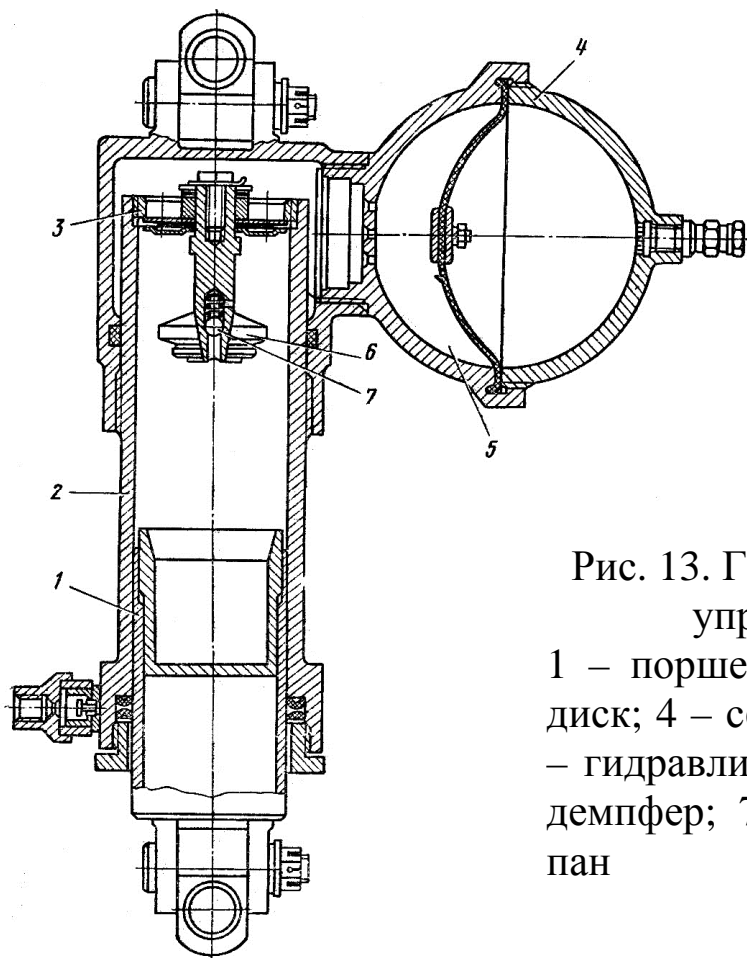


Рис. 13. Гидропневматический упругий элемент:

1 – поршень; 2 – цилиндр; 3 – диск; 4 – сферическая крышка; 5 – гидравлический резервуар; 6 – демпфер; 7 – перепускной клапан

Основным узлом подвески является пневмогидравлический цилиндр (рис. 14), который одновременно выполняет функции пневматической рессоры поршневого типа с противодавлением и двустороннего гидравлического амортизатора.

Пневмогидравлический цилиндр подвески устроен и работает следующим образом: в основном рабочем цилиндре 7 перемещается поршень с пустотелым штоком 6, который называется цилиндром противодавления. Полость А над поршнем (верхняя) через зарядный клапан 12 заполняется сжатым газом — азотом. В эту же полость цилиндра при сборке заправляется масло, которое служит для предотвращения утечек газа через подвижное соединение поршня с цилиндром (гидравлический затвор), а также для смазывания рабочих поверхностей.

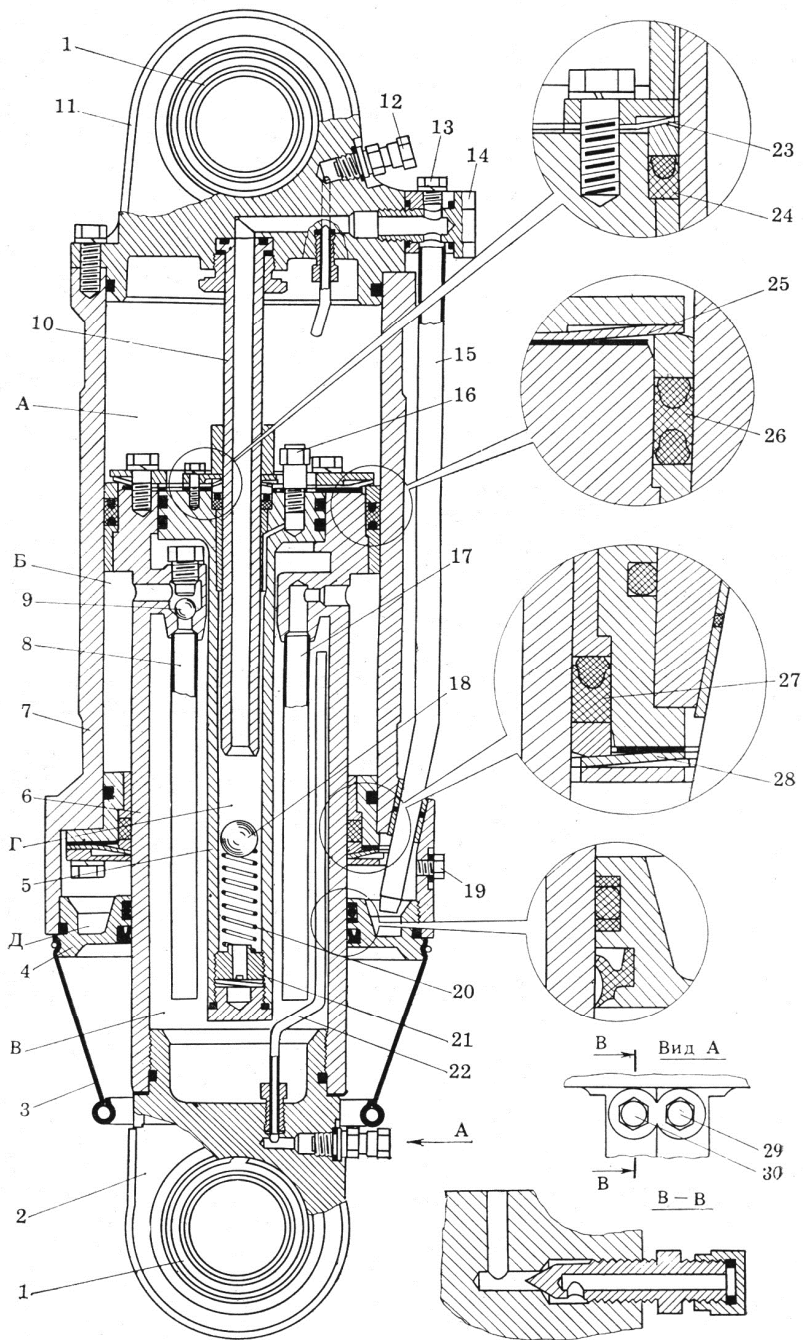


Рис. 14. Пневмогидравлический цилиндр подвесок автомобилей БелАЗ:  
 1 — шарнирный подшипник; 2 — нижняя крышка; 3 — защитная муфта; 4 — крышка картера маслосборника; 5 — гильза насоса; 6 — цилиндр противодействия; 7 — основной рабочий цилиндр; 8, 17 — соединительные трубки; 9 — обратный клапан отбоя; 10 — плунжер насоса; 11 — верхняя крышка; 12, 29 — зарядные клапаны; 13 — пробка; 14 — соединительный штуцер; 15 — наружная трубка насоса; 16 — обратный клапан насоса; 18 — клапан нагнетания насоса; 19 — контрольная пробка; 20 — пружина клапана; 21 — регулировочная гайка; 22 — заправочная трубка; 23, 25, 28 — пружины нажимного устройства; 24, 26, 27 — манжетные уплотнения; 30 — заправочный штуцер; А — надпоршневая (верхняя) полость; В — подпоршневая (кольцевая) полость; В — подпоршневая (нижняя) полость противодействия; Г — полость гильзы насоса; Д — полость маслосборника



Кольцевая полость Б под поршнем и нижняя часть внутренней полости штока В заполнены маслом. Полости Б и В сообщены посредством двух трубок 8 и 17, нижние открытые концы которых расположены ниже уровня масла в полости В. Верхняя часть полости В через нижний зарядный клапан 29 и трубку 22 заполняется сжатым газом, давление которого, проходящее по соединительным трубкам 8 и 17, передается на кольцевую поверхность поршня в полости Б.

Таким образом, поршень находится под давлением газа сверху (основное давление) и снизу (противодавление). При ходе сжатия поршень перемещается в цилиндре и сжимает газ в верхней полости А. За счет увеличения давления газа в верхней полости ход сжатия упруго ограничивается, и предотвращается «пробой» подвески. В полости противодавления при ходе сжатия давление уменьшается, так как при этом масло перетекает в увеличивающуюся кольцевую полость Б, и объем газовой полости В также увеличивается.

При ходе отбоя поршень перемещается в обратном направлении, при этом давление газа над поршнем (в верхней полости А) уменьшается, а противодавление — увеличивается, за счет чего упруго ограничивается ход отбоя. Таким образом, при движении автомобиля по неровной дороге пневмогидравлический цилиндр смягчает толчки и предотвращает жесткие удары как при ходе сжатия, так и при ходе отбоя.

Для гашения колебаний используется гидравлический амортизатор. Роль дросселирующей системы амортизатора выполняют соединительные трубки 8 и 17 с короткими калиброванными отверстиями на входе в кольцевую полость Б. При ходе сжатия рабочая жидкость под давлением газа проходит в полость Б, а при ходе отбоя вытесняется поршнем из полости Б в полость В. При отбое проходное сечение трубки перекрывается обратным клапаном и жидкость проходит через одно калиброванное отверстие, за счет чего гидравлическое сопротивление на ходе отбоя увеличивается по сравнению с сопротивлением на ходе сжатия, чем определяется несимметричная характеристика амортизатора.

Необходимым условием надежной работы пневмогидравлического цилиндра является герметичность всех неподвижных и подвижных соединений, так как утечка газа или масла приводит к

нарушению характеристики и ненормальной работе подвески. Неподвижные соединения поршня в цилиндре и штока в буксе уплотнены при помощи профилированных манжет из фторопласта-4 с канавками для установки резиновых распорных колец. Уплотнительная манжета с распорным резиновым кольцом устанавливается с предварительным натягом, который достигается при помощи нажимного устройства. В нажимном устройстве имеется упругий элемент в виде плоских кольцевых пружин 23 и 25 для поддержания натяга во время эксплуатации при различных режимах работы цилиндра.

Поскольку нельзя обеспечить полной герметичности подвижных соединений, для компенсации утечек рабочей жидкости в цилиндре имеется автономный плунжерный насос. Насос рассчитан на поддержание постоянного уровня масла над поршнем. Он расположен внутри цилиндра и состоит из плунжера 10, соединенного с верхней крышкой 11, и гильзы 5, соединенной с поршнем.

Масло, прошедшее через уплотнения 26 и 27, собирается в маслоборнике (полость Д). При ходе отбоя масло всасывается насосом из маслоборника через наружный трубопровод 15 в полость Г гильзы насоса. При ходе сжатия масло вытесняется из гильзы насоса обратно в маслоборник до тех пор, пока внутренний канал в плунжере 10 не перекроется подпружиненным клапаном 18. При дальнейшем ходе сжатия масло подается под давлением через обратный клапан 16 в надпоршневую полость А. Насос отрегулирован таким образом, что производит подкачку масла в полость А только при уменьшении уровня масла над поршнем и переходит на холостой режим работы при восстановлении высоты слоя масла.

Упругая характеристика пневмогидравлического цилиндра определяется количеством газа и жидкости в основной полости и в полости противодействия. Изменяя его для цилиндра одной размерности, можно получить множество характеристик. Это качество пневмогидравлической подвески использовано для унификации передних и задних цилиндров, а также цилиндров для всего семейства автомобилей и автопоездов грузоподъемностью 30... 65 т. На всех машинах применяется унифицированный пневмогидравлический цилиндр.

Конструкция независимой подвески передних колес БелАЗ-7549 и БелАЗ-7519 показана на рис. 15. Поворотный кулак 1 колеса при помощи проушин жестко соединен с поворотным шкворнем 3, имеющим две степени свободы (перемещение в осевом

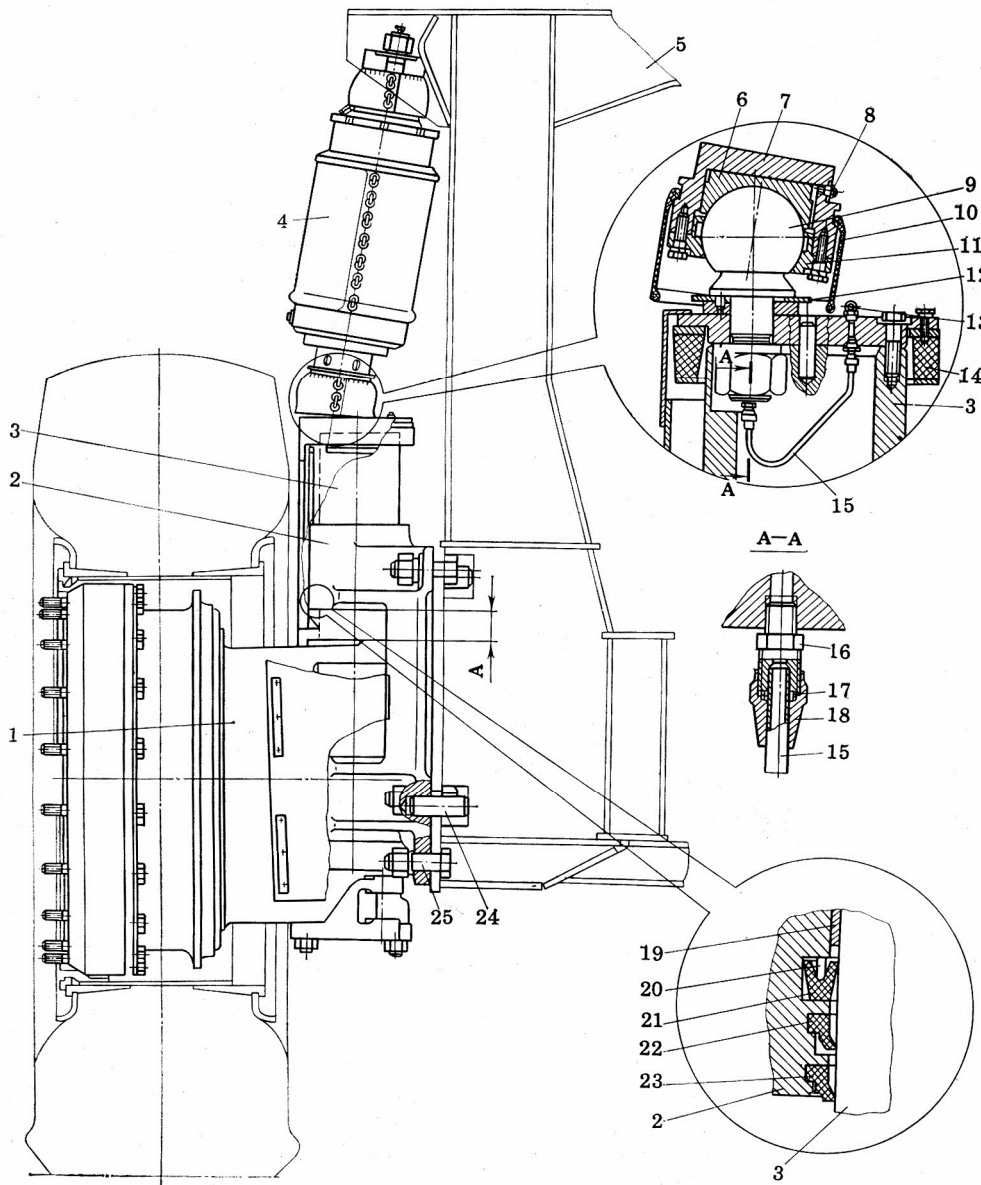


Рис. 15. Передняя подвеска автомобилей БелАЗ:

1 — поворотный кулак; 2 — кронштейн шкворня; 3 — шкворень; 4 — цилиндр подвески; 5 — рама; 6 — подпятник; 7 — нижняя крышка; 8 — предохранительный клапан; 9 — шаровая опора; 10 — чехол; 11 — крышка; 12 — диск; 13 — масленка; 14 — буфер; 15 — трубка; 16 — ниппель; 17 — муфта; 18 — гайка; 19 — втулка шкворня; 20 — опорное кольцо; 21 — манжета; 22 — грязесъемное кольцо; 23 — скребок; 24 — штифт; 25 — болт

направлении и вращение вокруг оси). Шкворень установлен в направляющих втулках кронштейна 2, жестко закрепленного на раме автомобиля.

В расточки проушин кронштейнов 2 установлены металлофторопластовые втулки 19, которые от перемещения в осевом направлении удерживаются выштамповками. Подвижные ее единения шкворня 3 с втулками 19 уплотнены с обеих сторон V - образными манжетами 21 с грязесъемным скребками 23. Для защиты от коррозии и повышения износостойкости шкворень хромируется. Каждый цилиндр подвески 4 соединен с рамой 5, и шкворнем 3 при помощи шаровых опор 9.

#### **4. ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ**

1. Классификация упругих элементов с прогрессивной характеристикой.
2. Каким образом оценивается плавность хода автомобиля?
3. Какой должна быть оптимальная упругая характеристика подвески?
4. Что такое динамическая емкость подвески?
5. Как можно увеличить динамическую емкость подвески?
6. Какие существуют способы получения нелинейной упругой характеристики подвески?
7. За счет чего пневматические упругие элементы имеют прогрессивную упругую характеристику?
8. Типы пневматических упругих элементов их достоинства и недостатки.
9. Принцип регулирования упругой характеристики в гидропневматических упругих элементах.
10. Классификация гидропневматических упругих элементов.
11. Типы гидропневматических упругих элементов их достоинства и недостатки.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Осепчугов В.В., Фрумкин А.К. Автомобиль. Анализ конструкций, элементы расчета: Учебник для студентов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». – М.:

- Машиностроение, 1989. – 304с.
2. Автомобили: Конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть: Учеб. пособие для спец. «Автомобили и тракторы»/ А.И. Гришкевич, Д.М. Ломако, В.П. Автушко и др.; Под. ред А.И. Гришкевича. - Мн.: Выш. шк., 1987. – 200 с.
  3. Лукин П.П. Конструирование и расчет автомобиля: Учебник для студ. втузов/ П.П. Лукин, Г.А. Гаспарянц, В.Ф. Родионов. – М.: Машиностроение, 1984. – 376 с.
  4. Раймпель Й. Шасси автомобиля: Элементы подвески/ Пер. с нем. А.Л. Карпухина; Под ред. Г.Г. Гридасова. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
  5. Конструкция автомобиля. Шасси/ Под общ. ред. А.Л. Карунина – М.: МАМИ, 2000. – 528 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Назначение и классификация.....	3
2. Упругая характеристика.....	4
3. Пневматические упругие элементы .....	8
4. Гидропневматические упругие элементы .....	16
4. Вопросы для контроля.....	28
Список литературы .....	28

Петров Александр Павлович

## **ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ И ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКАЯ ПОДВЕСКА**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
для студентов очной и заочной форм обучения  
специальности 190201

Редактор Н.М. Кокина

---

Подписано в печать	Формат 60×84 1/16	Бумага тип. №1
Печать трафаретная	Усл. печ. л. 1,75	Уч-изд. л. 1,75
Заказ	Тираж 80	Цена свободная

---

Редакционно-издательский центр КГУ.  
640669, г. Курган, ул. Гоголя 25.  
Курганский государственный университет.