

С.С.Журавлев, канд.техн.наук (ММИ)

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ КУЗОВА АВТОМОБИЛЕЙ С ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКОЙ НА ЧАСТОТУ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПОДРЕССОРЕННЫХ МАСС

Статическая нагрузка на упругий элемент подвески современных большегрузных автомобилей в груженом состоянии увеличивается в 2–8 раз по сравнению с негруженым состоянием. Для гидропневматических подвесок с прогрессивной упругой характеристикой статический прогиб подвески груженого автомобиля может достигать  $(0,5-0,8)l_0$ , где  $l_0$  – приведенная высота столба газа в рабочей полости гидропневматического цилиндра подвески в негруженом состоянии [1]. Значительное изменение статического прогиба подвески вызывает трудности при выборе динамических ходов подвески на сжатие и отбой, приводит к увеличению полного хода подвески, а также неблагоприятно сказывается на динамике движения автомобиля.

Для большинства современных большегрузных автомобилей характерно применение гидропневматических упругих элементов телескопического типа с противодавлением и без него. При этом возможны различные варианты восстановления уровня подрессоренных масс относительно неподрессоренных как с помощью изменения количества газа, так и жидкости в полостях гидропневматического цилиндра. На рис. 1 представлена расчетная схема гидропневматических упругих элементов для определения параметров подвески до и после регулирования уровня подрессоренных масс. При этом приняты следующие обозначения:

$l_1$  и  $L_1$  – приведенная высота столба газа соответственно в рабочей полости и полости противодавления цилиндра подвески;

$p_1$  и  $q_1$  – давление газа в статическом состоянии соответственно в рабочей полости и полости противодавления;

$F$  и  $f$  – площади поршня соответственно в рабочей полости и полости противодавления;

$G_1$  – статическая нагрузка на цилиндр подвески;

$h_1$  и  $H_1$  – приведенная и относительная приведенная высоты столба жидкости, подаваемого в рабочую полость гидропневматического цилиндра для восстановления уровня кузова при жидкостном регулировании;

$k_1 = \frac{q_1 f}{p_1 F}$  – коэффициент противодавления;

$\mu_i = \frac{L_i}{l_i}$  и  $\rho = \frac{f}{F}$  - соответственно отношение приведенных

столбов газа и площадей в полостях гидропневматического цилиндра;

$T_{pi}$  и  $T_i$  - соответственно размерный и безразмерный период собственных колебаний;

$n = \frac{G_i}{G_0}$  - коэффициент изменения статической нагрузки.

Индексы  $i = 0$  соответствуют параметрам подвески в негруженом состоянии автомобиля, а  $i = 1, 2, 3, 4, 5$  - груженого автомобиля для  $i$ -го способа регулирования.

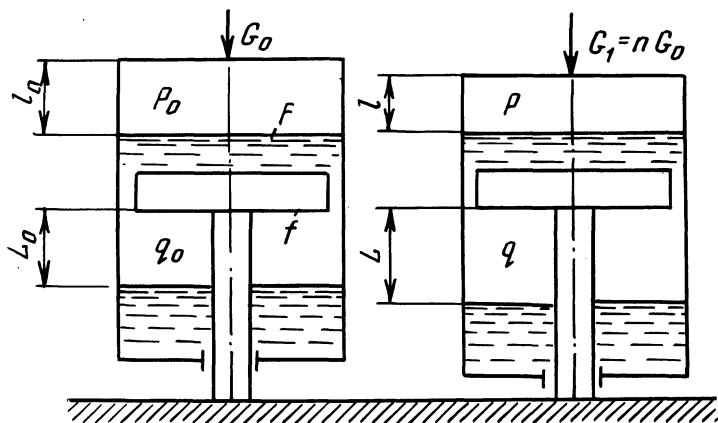


Рис. 1. Расчетная схема гидропневматической подвески.

При регулировании уровня подрессоренных масс относительно неподдресоренных путем изменения количества жидкости или газа в полостях гидропневматического цилиндра происходит также изменение жесткости упругого элемента подвески, которое влечет за собой изменение частоты собственных колебаний подрессоренных масс. Для некоторого упрощения рассматриваются частоты собственных колебаний для малых амплитуд и без учета жесткости шин. Получить же аналитические зависимости для частот собственных колебаний с учетом жесткости шин и малых амплитуд, зная жесткость упругого элемента подвески при различных способах регулирования уровня подрессоренных масс, не представляется трудным.

На рис. 1 представлены гидропневматические цилиндры подвески в негруженом и груженом состояниях. Для подвесок с противодавлением возможны следующие способы восстановления

уровня подрессоренных масс: 1) перекачиванием жидкости из полости противодействия в рабочую полость; 2) подачей жидкости извне в рабочую полость; 3) подачей газа в рабочую полость; 4) подачей газа одновременно в рабочую полость и полость противодействия. Для подвесок без противодействия, у которых полость противодействия соединяется с атмосферой, возможны только два случая восстановления уровня кузова: подачей жидкости или газа. Для сравнения также рассматриваются частоты собственных колебаний подрессоренных масс у нерегулируемых подвесок с противодействием и без противодействия.

По первому способу восстановление уровня подрессоренных масс относительно неподрессоренных происходит вследствие перекачивания части жидкости из полости противодействия в рабочую. При этом после регулирования параметры цилиндра подвески с противодействием примут следующие значения:

$$H_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{1+k_0\mu_0\rho}{(1-k_0)n} + \mu_0\rho - 1 + \sqrt{\left[ \frac{1+k_0\mu_0\rho}{(1-k_0)n} + \mu_0\rho - 1 \right]^2 - 4\mu_0\rho \left( \frac{1}{n} - 1 \right)} \right);$$

$$k_1 = k_0(1 - H_1) \frac{\mu_0\rho}{\mu_0\rho + H_1}; \quad \mu_1 = \mu_0 \frac{\mu_0\rho + H_1}{\mu_0\rho(1 - H_1)}; \quad l_1 = l_0(1 - H_1).$$

Безразмерный период собственных колебаний для малых амплитуд определится следующим выражением:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{(1 - H_1)(1 - k_1)\mu_1}{\mu_1 + k_1}}.$$

Переход от безразмерного периода собственных колебаний к размерному осуществляется по выражению

$$T_{pi} = T_i \sqrt{\frac{g}{l_0}},$$

где  $g$  - ускорение свободного падения.

Регулирование уровня подрессоренных масс за счет увеличения количества жидкости в рабочей полости, подаваемой извне (второй способ регулирования), приводит к изменению давления и приведенной высоты столба газа только в рабочей полости цилиндра подвески. Параметры подвески после регулирования в данном случае будут равны:

$$l_2 = l_0 \frac{1}{k_0(1 - n) + n}; \quad k_2 = \frac{k_0}{k_0(1 - n) + n}; \quad \mu_2 = \mu_0 [k_0(1 - n) + n]; \quad H_2 = 1 - \frac{1}{k_0(1 - n) + n}.$$

Безразмерный период собственных колебаний будет

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{\mu_2(1 - k_2)}{(\mu_2 + k_2)[k_0(1 - n) + n]}}$$

В случае, если регулирование уровня подрессоренных масс осуществляется путем увеличения количества газа в рабочей полости подвески (третий способ регулирования), изменится только давление в этой же полости и соответственно коэффициент противодействия, остальные параметры останутся такими же, как и для негруженого состояния:

$$p_3 = p_0[k_0(1 - n) + n]; \quad k_3 = \frac{k_0}{k_0(1 - n) + n}.$$

Период собственных колебаний

$$T_3 = 2\pi \sqrt{\frac{\mu_0(1 - k_3)}{\mu_0 + k_3}}$$

При всех вышеуказанных способах регулирования частоты собственных колебаний подрессоренных масс в груженом и негруженом состояниях были не равны. Из условия постоянства частоты собственных колебаний независимо от нагрузки для подвесок с противодействием необходимо сохранить в статическом состоянии неизменными все параметры подвески, т.е.  $k = \text{const}$ ,  $\mu = \text{const}$ ,  $l_0 = \text{const}$ . Для этого необходимо изменять одновременно количество газа в рабочей полости и полости противодействия таким образом, чтобы при постоянной высоте подрессоренных масс для различных статических нагрузок обеспечить постоянное соотношение давлений в этих же полостях. В данном случае период собственных колебаний будет постоянным для любых статических нагрузок на упругий элемент, т.е.

$$T_4 = 2\pi \sqrt{\frac{1}{1 - k_0} \left[ 1 + \frac{k_0}{\mu_0} \right]}.$$

Для подвесок без противодействия при регулировании уровня подрессоренных масс путем изменения количества газа в цилиндре подвески происходит стабилизация частоты собственных колебаний подрессоренных масс, т.е. при постоянной приведенной высоте столба газа сохраняется также постоянная частота собственных колебаний для малых амплитуд при различных статических нагрузках.

На рис. 2 представлены также для сравнения кривые изменения периода собственных колебаний от статической нагрузки для случая нерегулируемых гидropневматических подвесок с противодействием и без противодействия.

Анализ полученных результатов показывает, что не все спо-

собы регулирования уровня подрессоренных масс в одинаковой степени влияют на частоту собственных колебаний подрессоренных масс. Наибольшее влияние оказывают способы, связанные с восстановлением уровня кузова с помощью газа. Так, например, при регулировании путем подачи газа в рабочую полость подвески с противодавлением период собственных колебаний возрастает в 1–2 раза с увеличением статической нагрузки на упругий элемент в диапазоне соотношения нагрузок 3–9 по сравнению с нерегулируемым вариантом подвески. При этом с увеличением статической нагрузки на упругий элемент период собственных колебаний возрастает по сравнению с негруженым состоянием, в то время как другие способы регулирования обеспечивают или одинаковый период собственных колебаний для всех статических нагрузок, или дают уменьшение последнего.

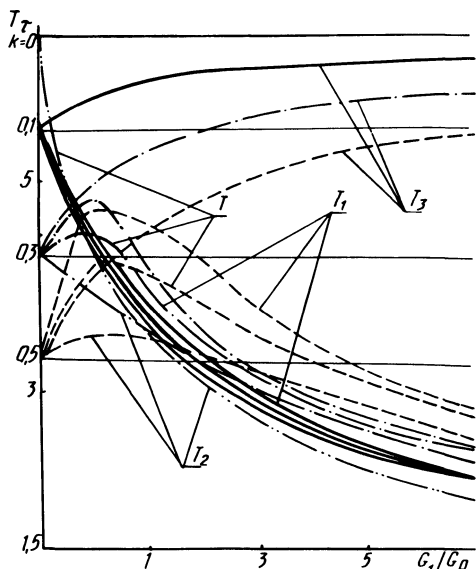


Рис. 2. Зависимость безразмерного периода собственных колебаний подрессоренных масс от величины статической нагрузки на упругий элемент:

$T_1$  и  $T_2$  — соответственно безразмерный период собственных колебаний для  $i$ -го способа регулирования и для нерегулируемых подвесок;  $\mu = 0,6$ ,  $\rho = 0,3$ .

С увеличением коэффициента противодействия период собственных колебаний подрессоренных масс уменьшается при всех способах регулирования. Кривая изменения последнего в зависимости от нагрузки на упругий элемент у подвесок с противодавлением имеет максимум, проявляющийся в большей степени с увеличением коэффициента противодействия, в то время как у подвесок без противодействия уменьшение периода собственных колебаний монотонно убывает. Таким образом, для подвесок с противодавлением имеется возможность, даже при отсутствии регулирования высоты кузова, обеспечить для двух значений соотношений нагрузок на упругий элемент одинаковый период соб-

ственных колебаний, что является преимуществом данного типа подвесок перед подвесками без противодействия, хотя конструктивно подвески с противодействием более сложны. Например, для подвески с противодействием при  $k = 0,5$  и отсутствии регулирования высоты кузова одинаковый период собственных колебаний имеет место для негруженого автомобиля при  $n = 1$  и при шестикратном увеличении нагрузки  $n = 6$ . При  $k = 0,3$  одинаковый период собственных колебаний будет обеспечиваться уже в меньшем диапазоне при  $n = 1$  и  $n = 2,5$ . С учетом жесткости шин характер изменения периода собственных колебаний будет другим и значения нагрузок с одинаковыми периодами собственных колебаний будут отличаться от вышеприведенных.

Из рис. 2 следует, что жидкостное регулирование высоты кузова путем подачи жидкости в рабочую полость цилиндра подвески с противодействием способствует снижению периода собственных колебаний по сравнению с нерегулируемой подвеской на 18–20% в диапазоне изменения нагрузок  $n = 2-4$ , при этом указанная разница уменьшается с увеличением нагрузки и с уменьшением коэффициента противодействия. При регулировании высоты кузова путем перекачивания жидкости из полости противодействия в рабочую полость происходит обратное явление, т. е. повышается период собственных колебаний по сравнению с нерегулируемым вариантом подвески на 8–12% в том же диапазоне нагрузок, хотя с увеличением нагрузки эта разница также уменьшается. Указанные явления происходят в первом случае за счет большего значения коэффициента противодействия во время регулирования по сравнению со вторым случаем регулирования. У подвесок без противодействия жидкостное регулирование не влияет на частоту собственных колебаний подрессоренных масс, в то время как регулирование высоты кузова с помощью газа обеспечивает независимость частоты собственных колебаний от нагрузки.

## Л и т е р а т у р а

1. Shurawlew S., Springer H. Zur Berechnung der Eigenfrequenzen hydropneumatisch gefederter Fahrzeuge. – Automobil-Industrie, 1978, N 2, s. 54–61.