

УДК 629.114

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСТВОРИМОСТИ ГАЗА НА ЖЕСТКОСТЬ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

**М.И. ЖИЛЕВИЧ, Е.М. ЗАБОЛОЦКИЙ**

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск*

**М.М. ЗАБОЛОЦКИЙ**

*Белорусский автомобильный завод (БелАЗ), г. Жодино*

Цель работы – оценка упругих свойств пневмогидравлической подвески с учетом растворимости газа (технического азота) в минеральном масле.

Работа пневматической рессоры основана на принципе сжатия и расширения газа в соответствии с политропическим законом:

$$pV^n = const,$$

где  $V$  – объем газа;  $p$  – давление газа;  $n$  – показатель политропы.

При медленном процессе сжатия-расширения с хорошей теплоотдачей принимают  $n = 1$  (изотермический процесс), при ухудшении теплопередачи с повышением скорости процесса значение  $n$  может достигать 1,3...1,4. Упругая характеристика подвески позволяет оценить давление (силу упругости) в цилиндре в зависимости от положения подрессоренной и неподрессоренной масс и рассчитывается по заданным нагрузкам на цилиндр подвески для снаряженного автомобиля:

$$p_x = p_0 \left( \frac{L_0}{L_0 - \Delta x} \right)^n,$$

где  $\Delta x$  – отклонения поршня от начального положения  $L_0$ , соответствующего, в частности, положению снаряженного автомобиля (знак минус в знаменателе соответствует системе отсчета, при которой в качестве положительного направления выбран ход сжатия);  $p_x$  и  $p_0$  – давление в цилиндре, соответственно, в промежуточном и начальном положениях поршня.

В зависимости от скорости сжатия газа различают статическую ( $n = 1$ ) и динамическую ( $n = 1,2...1,3$ ) упругую характеристику.

В цилиндрах пневмогидравлической подвески карьерных самосвалов БелАЗ газовая и жидкая фаза не разделены, поэтому под воздействием давления газ частично растворяется в масле. При растворении газа уменьшается его количество, участвующее в процессе сжатия-расширения, упругая характеристика изменяется. Поэтому при расчете параметров зарядки рабочей полости цилиндра подвески учитывают растворимость газа и пользуются первоначальной статической упругой характеристикой с избыточным содержанием азота, называемой зарядной:

$$p_x = p_0 \frac{FL_0 + kV_{жс}}{F(L_0 - \Delta x)},$$

где  $F$  – активная площадь поршня;  $k$  – коэффициент растворимости азота, причем  $k = V_p / V_{ж}$ , где  $V_p$  – объем газа при некотором давлении  $p$ , который может раствориться в объеме жидкости  $V_{ж}$  до ее полного насыщения (коэффициент  $k$  уменьшается при увеличении плотности жидкости, в которой растворяется газ, и практически не зависит от давления).

Так как растворение газа при увеличении давления происходит намного медленнее, чем его выделение из масла при уменьшении давления в качестве расчетного принимают положение поршня цилиндра подвески, соответствующее снаряженному автомобилю. Зарядную характеристику используют для того, чтобы определить, на сколько необходимо повысить начальное давление  $p_0$  в цилиндре (в растянутом положении), если он заправляется газом вне автомобиля, или на сколько должна быть увеличена первоначальная высота  $L_0$  столба газа, если цилиндр заправляется на снаряженном автомобиле.

В ходе эксплуатации карьерных самосвалов БелАЗ при длительной непрерывной работе под нагрузкой (транспортировка грузов на большие расстояния) было отмечено изменение упруго-демпфирующих свойств подвески, которое проявлялось в повышении ее жесткости, причем упругие свойства восстанавливались через относительно небольшой промежуток времени после разгрузки самосвала. Кроме того, на основании проведенных на БелАЗе экспериментальных исследований установлено, что растворение азота до полного насыщения масла при увеличении давления осуществляется за время около 2 часов, а его выделение при снижении давления – за 0,2...0,3 часа, причем растворение газа практически не наблюдается, если нагрузка изменяется статически (без перемешивания жидкости и газа).

В связи с тем, что одной из предполагаемых причин изменения упругих свойств подвески была выделена растворимость азота в масле, возникла необходимость получить количественную оценку силы упругости (давления в цилиндре) для различных положений поршня с учетом уменьшения приведенного к н.у. объема газа, участвующего в формировании упругой характеристики, из-за растворения некоторого его количества при загрузке самосвала. При использовании зарядной характеристики расчет параметров заправки цилиндра подвески проводится для положения, соответствующего снаряженному автомобилю. Предполагается, что через определенный промежуток времени после приработки подвески дополнительно заправленный в соответствии с зарядной характеристикой газ растворяется в минеральном масле, приведенная высота столба газа становится равной  $L_0$  и в дальнейшем растворения газа не происходит, причем изменение жесткости подвески осуществляется по упругой характеристике.

Такое предположение оказывается вполне оправданным для автомобилей, работающих с достаточно коротким циклом «погрузка-разгрузка», который является наиболее характерным при эксплуатации карьерных самосвалов. За относительно небольшие промежутки времени упругая характеристика не успевает измениться существенным образом. Однако, если технологический процесс эксплуатации карьерных самосвалов предусматривает транспортировку груза на значительные расстояния с низкой скоростью, следует учесть, что в цилиндре под воздействием нагрузки может уменьшиться количество газа, определяющего упругие свойства подвески.

Объем газовой полости в цилиндре подвески для снаряженного автомобиля при заданной величине  $L_0$  определяется по выражению  $V_0 = L_0 \times F$ . При н.у. этот газ займет объем

$$V_{0, \text{н.у.}} = V_0 \frac{P_0}{P_{\text{н.у.}}},$$

где  $P_{\text{н.у.}}$  – давление при нормальных условиях (0,1 МПа).

С целью компенсации растворимости в снаряженном состоянии в цилиндр подвески заправляется дополнительное количество газа  $V_{p_0}$ . Приведенный к н.у. этот газ будет занимать объем

$$V_{p, \text{н.у.}} = V_{p_0} \frac{P_0}{P_{\text{н.у.}}} = kV_{\text{жс}} \frac{P_0}{P_{\text{н.у.}}}.$$

В результате получим суммарное количество газа, заправляемого в цилиндр подвески:

$$V_{\Sigma, \text{н.у.}} = V_{0, \text{н.у.}} + V_{p, \text{н.у.}} = (L_0 F + kV_{\text{жс}}) \frac{P_0}{P_{\text{н.у.}}},$$

что соответствует объему газовой полости при давлении  $p_0$ , равном

$$V_{\Sigma, 0} = V_{\Sigma, \text{н.у.}} \frac{P_{\text{н.у.}}}{P_0} = L_0 F + kV_{\text{жс}}$$

и изменению начального значения  $L_0$  на величину  $kV_{\text{жс}}/F$ .

Для некоторого промежуточного положения подвески при давлении  $p_x$  приведенный к н.у. участвующий в формировании упругой характеристики объем газа  $V_{\text{н.у.},x}$  по причине растворимости уменьшается на величину  $V_{p, \text{н.у.},x}$ , которую можно определить из уравнения состояния газа

$$V_{p, \text{н.у.},x} P_{\text{н.у.}} = V_{p_x} P_x;$$

$$V_{p, \text{н.у.},x} = V_{p_x} \frac{P_x}{P_{\text{н.у.}}} = kV_{\text{жс}} \frac{P_x}{P_{\text{н.у.}}}.$$

Тогда

$$V_{\text{н.у.},x} = V_{\Sigma, \text{н.у.}} - V_{p, \text{н.у.},x} = (L_0 F + kV_{\text{жс}}) \frac{P_0}{P_{\text{н.у.}}} - kV_{\text{жс}} \frac{P_x}{P_{\text{н.у.}}}.$$

Если сжать этот газ давлением  $p_x$  до объема  $V_x = (L_0 - \Delta x)F$ , то можно записать

$$V_{\text{н.у.},x} P_{\text{н.у.}} = V_x P_x,$$

откуда получим зависимость, устанавливающую связь между степенью загрузки карьерного самосвала ( $p_x$ ) и отклонением  $\Delta x$  координаты поршня от снаряженного  $L_0$  положения в случае полного насыщения минерального масла техническим азотом:

$$p_x = p_0 \frac{FL_0 + kV_{\text{жс}}}{F(L_0 - \Delta x) + kV_{\text{жс}}}.$$

Рассчитанные по различным зависимостям характеристики для задних цилиндров карьерного самосвала БелАЗ-7513 грузоподъемностью 130 тонн представлены

на рис. 1. Как видно из рис. 1, на ходе отбоя и на ходе сжатия до 0,05 м характеристики практически совпадают, но при учете растворимости азота наблюдается более существенное (по сравнению с другими характеристиками) отклонение положения поршня от снаряженного состояния при равном нагружении цилиндра подвески. Состоянию груженого автомобиля соответствует давление в цилиндре около 10 МПа и перемещение около 125 мм по статической упругой характеристике. Если нагрузка действует длительное время и происходит растворение газа, то при полном насыщении масла азотом увеличивается ход поршня и он максимально приближается к упору, что соответствует более жесткому участку упругой характеристики и может служить объяснением изменения свойств подвески в указанных условиях эксплуатации. С целью проанализировать степень влияния объема жидкости в цилиндре на количество растворяемого газа и, следовательно, упругие свойства подвески был проведен расчет для цилиндра с уменьшенным в два раза по сравнению с исходным объемом жидкости  $V_{ж}$ . Уменьшение  $V_{ж}$  лишь в некоторой степени позволяет снизить прогиб и приблизиться к упругой характеристике, но не позволяет решить проблему по существу.

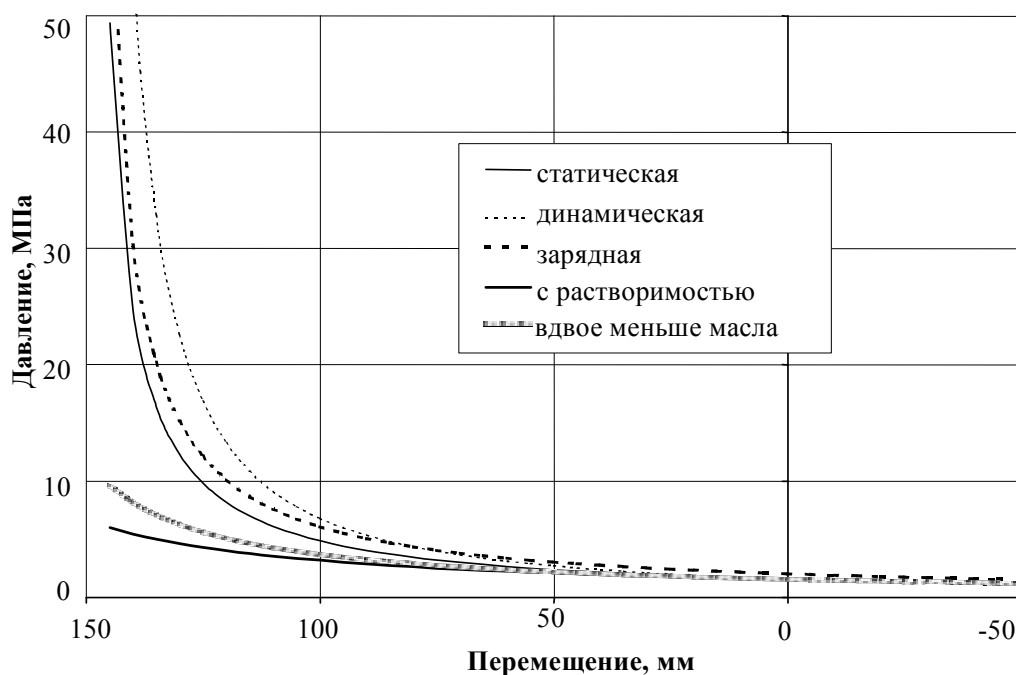


Рис. 1. Расчетные характеристики

Таким образом, в результате проведенной работы получена зависимость, позволяющая оценить упругие свойства пневмогидравлической подвески с учетом растворимости азота в рабочей жидкости до ее полного насыщения. Полученная зависимость дает возможность количественно и качественно объяснить процессы, происходящие с рабочим телом при длительной работе подвески под нагрузкой, а также прогнозировать предельные состояния, когда газ может полностью раствориться в масле, например по причине его малого относительного объема или повышенных нагрузок на цилиндры подвески. Выполненные расчеты показывают, что при проектировании подвески с целью обеспечения стабильности ее характеристик необходимо учитывать режим эксплуатации автомобиля: для самосвалов, технологический процесс эксплуатации которых предусматривает транспортировку грузов на большие расстояния с низкой скоростью, целесообразно использовать подкачку азота,

увеличив  $L_0$  в сравнении с зарядной характеристикой, применять конструкцию цилиндров с разделением газовой и жидкой сред или с минимально допустимым объемом жидкости.

### **Литература**

1. Автомобили: Конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть: Учеб. пособие для вузов /А.И. Гришкевич, Д.М. Ломако, В.П. Автушко и др.; Под ред. А.И. Гришкевича. – Мн.: Выш. шк., 1987. – 200 с.: ил.
2. Автомобили: Машины большой единичной мощности: Учеб. пособие для вузов /М.С. Высоцкий, А.И. Гришкевич, Д.М. Ломако, А.В. Зотов и др.; Под ред. М.С. Высоцкого, А.И. Гришкевича. – Мн.: Выш. шк., 1988. – 160 с.: ил.

*Получено 11.10.2002 г.*