

УДК. 621.752.3

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ВИБРОИСПЫТАНИЯХ

© Борис Александрович Гордеев, Владимир Петрович Горсков,
Александр Николаевич Осмехин, Сергей Николаевич Охулков
Нижегородский филиал института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,
Нижний Новгород, Россия
vibro@mts-nn.ru

***Аннотация.** Применение гидравлических виброопор позволяет создавать адаптивные системы виброизоляции двигателей транспортных средств и других видов оборудования с более высокими собственными резонансными частотами. В то же время, сохраняя более низкую динамическую жесткость при малых относительных перемещениях двигателей транспортных средств, а также иметь повышенное демпфирование на резонансных частотах.*

***Ключевые слова:** гидравлическая опора, колебания, резонансная частота, вибрационная изоляция, магнитная жидкость, демпфирование, акустические волны.*

Гидравлическая виброопора предназначена для демпфирования колебаний силовых агрегатов транспортных средств, стационарных энергетических установок, снижения уровней шума и вибрации в производственных и жилых помещениях.

В данной статье рассмотрены основные характеристики виброопоры, ее принцип действия и фактическое применение при виброиспытаниях.

Гидравлическая виброопора схематично представлена на рисунке 1. Она состоит из герметично закрытой рабочей камеры 1, заполненной магнитореологической жидкостью и ограниченной эластичной обечайкой 2, и опорной платой 3. Рабочая камера посредством дроссельных каналов 4а и 4б, не являющихся продолжением друг друга с тангенциальным вводом в кольцевую полость, а также дроссельных каналов 5а и 5б с тангенциальным вводом в промежуточную камеру расположенных, соответственно, в периферийной и средней частях разделительной перегородки 6, установленной в корпусе 7, сообщена с компенсационной камерой 8, ограниченной снизу эластичной мембраной 9, отделяющей демпфирующую жидкость от воздушной полости 10 и уплотненную в корпусе 7 посредством поддона 11, предохраняющего мембрану 9 от механических повреждений. Разделительная перегородка 6 содержит кольцевую полость 12, примыкающую к дроссельным каналам 4 (4а и 4б) и выполненную в периферийной части перегородки и частично выходящую в корпус 7. Перемычка с капиллярами 13 соединяющими рабочую и компенсационную камеры, составляет часть разделительной перегородки 6 в которой выполнена промежуточная камера 14 с эллиптическим сечением, соединенная дроссельными каналами 15а и 15б с кольцевой полостью. Компенсационная камера 8 состоит из центральной 8а и периферийной сферообразной 8б частей. Металлическая перегородка 6 снабжена двумя соленоидами 16, расположенными на ее противоположных сторонах, которые через усилитель 20 мощности последовательно соединены с фазовращателем 19, согласующим усилителем 18 и акселерометром 17, а выход согласующего усилителя соединен с осциллографом 23 и блоком 24 управления, который в свою очередь, соединен с фазовращателем и источником 21 питания, второй выход которого соединен с усилителем мощности [1].

Применение гидравлических виброопор позволяет создавать адаптивные системы виброизоляции двигателей транспортных средств и других видов виброактивного оборудования с более высокими собственными резонансными частотами и в то же время с более низкой динамической жесткостью при малых относительных перемещениях

двигателей транспортных средств, а также иметь повышенное демпфирование на резонансных частотах.

Принцип действия гидравлической виброопоры заключается в следующем. При стационарной работе любого силового агрегата (источника вибрации) на гидроопору действует знакопеременное давление. Пусть в первом полупериоде входного периодического вибросигнала динамическая нагрузка совпадает со статической. Тогда давление, с учетом несжимаемости жидкости в рабочей и компенсационной камерах резко возрастает, что приводит к растяжению гибкой мембраны 9. Возникший перепад давлений приводит к движению жидкости из рабочей камеры через дроссельные каналы 4а и 5а в кольцевую 12 и промежуточную 14 камеры, где поступившие потоки благодаря тангенциальным вводам приобретают вращательное движение и возбуждают все слои жидкости в этих полостях.

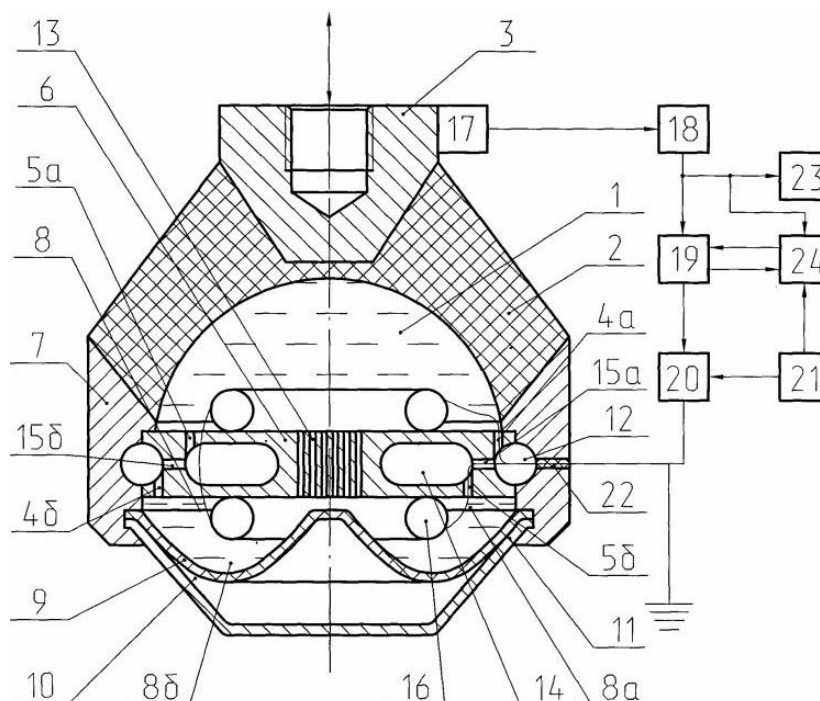


Рис. 1 – Гидравлическая опора

Так как в промежуточной камере 14 движущаяся магнитоэологическая жидкость подвергается действию магнитного поля, создаваемого соленоидом 16, то ее движение может ускоряться, или затормаживаться в зависимости от фазовых соотношений между питающим соленоидом током и внешним вибрационным сигналом. Поэтому, управляя фазовращателем 19 можно подобрать оптимальный фазовый сдвиг между этими сигналами, при котором происходит наиболее эффективное демпфирование.

При закреплении электродвигателя на вибростенде с гидроопорами его пусковой ток на частотах вибростенда 40-45 Гц превышал номинальный не более чем на 50%. В работе [6] приведены данные о снижении уровней вибрации электрооборудования электровоза ВЛ-80с при использовании гидроопор. В электровозах наземного и подземного транспорта имеют место виброполя, возбуждаемые работой силовых агрегатов – тяговых двигателей, фазорасщепителей, компрессоров и т.д. Каждый из этих источников виброполей работает в нестационарных режимах, обусловленных рабочими процессами. Виброполя, распространяющиеся по конструкции электровоза, поглощают значительную долю энергии силовых агрегатов. Эта доля тем больше, чем выше виброактивность работающих энергетических агрегатов (электродвигателей).

Степень демпфирования вибрации на данной частоте вибростенда контролировалась по осциллографу 23, который подключен к выходу согласующего усилителя 18 вибросигнала. Одновременно, через дроссельные каналы 4б и 5б, жидкость в виде вихревых шнуров выбрасывается в компенсационную камеру гидроопоры.

При нагружении гидроопоры от двигателя, объем верхней камеры изменяется и вынуждает магнитореологическую жидкость течь через отверстия в нижнюю камеру. Это течение порождает два типа силовых реакций в гидроопоре за счет инерции жидкости и вязкого сопротивления течению.

В перемычке с дроссельными каналами 13 происходят следующие процессы. Излучение акустических волн от работающего силового агрегата происходит постоянно в рабочую камеру независимо от периода действия основной гармоники входного вибросигнала. Когда фронт акустического сигнала достигает перемычки с дроссельными каналами, выполненными в виде капилляров, то волна поглощается перемычкой, так как импедансы первоначальной среды распространения в жидкости, заполняющей рабочую камеру и перемычки с капиллярами совпадают. Это происходит при условии смачивания жидкостью внутренней поверхности капилляра. В то же время в перемычке и, следовательно, в промежуточной перегородке не возбуждаются изгибные волны благодаря ее неоднородной структуре в продольном направлении. Необходимым условием запираания капилляров, является равенство диаметров капилляра и мениска для рабочей жидкости определенной вязкости. При заполнении гидроопоры рабочей жидкостью типа ПМС-200 с магнитореологическими свойствами и динамической вязкостью $\mu = 1,5 \cdot 10^8 P \cdot c$ диаметр капилляров порядка 1,5 мм. На высоких частотах входного вибросигнала (порядка 100 Гц и выше) капилляры с обычной, не магнитореологической или электрореологической жидкостью запираются, но благодаря оптимальному фазовому рассогласованию электромагнитного и вибрационного сигналов в промежуточной полости 14 движение магнитореологической жидкости не прекращается и возрастает поглощение энергии внешнего вибросигнала. Кроме того высокочастотное неоднородное магнитное поле действующее в каналах 13 способствует разрушению менисков в этих каналах и вызывает движение рабочей жидкости, что способствует улучшению демпфирующих характеристик гидроопоры в целом [1].

Во втором полупериоде воздействия на виброопору входного вибросигнала давление в камерах понижается, и все описанные процессы проходят в обратном порядке. Благодаря разности давлений в рабочей и компенсационной камерах через дроссельные каналы 4а и 4б жидкость поступает из кольцевой и промежуточной полостей в рабочую камеру. Так как каналы 4а выполнены с тангенциальным к внутренней поверхности обечайки вводом в рабочую камеру, то сразу возникает вращательное движение жидкости. Вводы дроссельных каналов 5а в рабочую камеру направлены к ее центру и, таким образом, жидкость, выбрасываемая через них возмущает оставшиеся слои в центре рабочей камеры.

При поступлении рабочей жидкости из компенсационной камеры через дроссельные каналы 4б и 5б в кольцеобразную и промежуточную камеры в последних, благодаря тангенциальным вводам каналов, создаются встречные спиралеобразные потоки, как и в первом полупериоде.

Поглощение акустической энергии в данной конструкции гидроопоры происходит прежде всего в обечайке, так как опорная плата, на которую передаются основные высокочастотные составляющие спектра внешнего вибросигнала, полностью изолирована от рабочей камеры эластичной обечайкой. Но некоторая доля высокочастотных составляющих через тонкий слой обечайки, покрывающий снизу опорную плату, излучается в жидкую среду, заполняющую рабочую камеру. Поскольку акустические волны, излучаемые в жидкие среды, являются продольными, то достигая перемычки с капиллярами, они в ней поглощаются не трансформируясь в изгибные волны. Поглощение акустических волн

перемычкой с капиллярами происходит более интенсивно на всех частотах диапазона за счет равенства импедансов перемычки и рабочей жидкости. Благодаря жесткой перемычке с капиллярами циркуляция рабочей жидкости между камерами на низких частотах происходит более интенсивно и вследствие этого возрастает диссипация энергии внешнего вибросигнала. На высоких частотах, более 50 Гц основную роль в диссипации вибросигнала выполняют капилляры, заполненные рабочей жидкостью. Жидкость в этих капиллярах действует аналогично инерционному трансформатору.

Таким образом, созданная адаптивная система виброизоляции имеет повышенное демпфирование на резонансных частотах.

Для повышения эффективности виброизоляции предложены различные конструкции гидропор и рассмотрены отрицательные факторы, влияющие на их разгерметизацию. Информация об этом представлена в других статьях.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Гранта РФФИ «Нелинейная волновая динамика и устойчивость роторных систем» (2011г., № 11-08-97066-Р_Поволжье).

Литература

1. Патент РФ № 96100147/28, 10.02.1998.

Гордеев Б.А., Весницкий А.И., Марков В.И., Аббакумов Е.И. Гидравлическая виброопора // Патент России № 2104424. Бюл. № 4.

2. Гордеев Б.А., Ерофеев В.И., Синев А.В., Мугин О.О. Системы виброзащиты с использованием инерционности и диссипации реологических сред.-М.: Физматлит, 2004.- 173 с.

3. Гордеев Б.А., Тумаков С.Ф., Бугайский В.В. Экспериментальные исследования характеристик гидропор на вибростендах // Проблемы машиностроения и надежности машин.-2006.- №5.-С.84-87.

4. Флинн Г. Физика акустической кавитации в жидкостях // Физическая акустика / [под ред. У. Мезона]. М.: Мир, 1967. – Т. 1, – С. 7 – 138.

5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М. Наука, 1978.-736 с.

6. Гордеев Б.А., Ерофеев В.И., Ковригин Д.А., Синев А.В., Аббакумов Е.И. Взаимодействие силового агрегата мотор-компрессора электровоза с вибрационными полями в переходных режимах // Проблемы машиностроения и надежности машин.-2002.-№4.- С.105-111.

Поступила: 03.10.11.