

УДК 621.01

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И КАВИТАЦИЯ В РАБОЧЕЙ СРЕДЕ ГИДРООПОР

© 2011 г.

А.Н. Осмехин¹, В.П. Горсков², С.Н. Охулков¹

¹Нижегородский филиал Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

²Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

newnuclear@mail.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Проведенные испытания различных конструктивных вариантов гидроопор выявили наличие в рабочей среде металлических взвесей размерами от 10^{-8} до 10^{-6} м. Было высказано предположение, что эти частицы возникают в результате микрогидроударов. Микрогидроудары, в свою очередь, вызываются схлопыванием кавитационных пузырьков, возникающих в результате турбулентного течения рабочей жидкости в дроссельных каналах гидроопор. Рассмотрены основные причины возникновения кавитационных зон в гидроопоре и предложены способы их уменьшения. Результаты исследования, проводимого в лаборатории при Нф ИМАШ РАН, представлены в этой статье. Также были исследованы различные методы сокращения и, впоследствии, устранения кавитационных зон в гидропорах.

Ключевые слова: гидроопора, кавитация, турбулентность, рабочая жидкость, эксперимент.

Основные причины, провоцирующие появление кавитационных зон, рассмотрены на примере гидроопоры ОГ-90. Этот тип гидроопоры предназначен для статической нагрузки 90 кг, динамической нагрузки до 70 м/с^2 и работы в частотном диапазоне до 500 Гц. Структурная схема гидроопоры приведена на рис. 1.

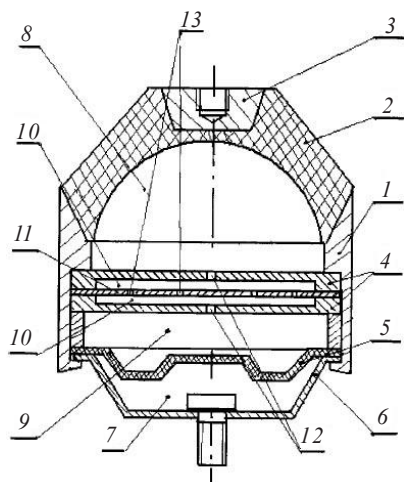


Рис. 1

Гидравлическая виброопора содержит герметично закрытую рабочую камеру 1, ограниченную эластичной обечайкой 2 и опорной плитой 3 и заполненную рабочей жидкостью. Рабочая камера посредством дроссельных каналов 4, не являющихся продолжением друг друга, соединена с внутренней полостью 5, расположенной в перегородке

6 и разделенной на две равные части гибкой диафрагмой 7, которые сообщаются с помощью дроссельных отверстий 8, расположенных в диафрагме, нижняя часть внутренней полости 5 посредством дроссельных каналов 9 сообщается с компенсационной камерой 10, ограниченной снизу эластичной мембраной 11, отделяющей рабочую жидкость от воздушной полости 12 и уплотненную в корпусе 13 посредством поддона 14, предохраняющего мембрану 11 от механических повреждений.

Гидравлическая виброопора работает следующим образом.

При воздействии на опорную плиту 3 статической нагрузки от установки силового агрегата транспортного средства эластичная обечайка 2 деформируется, и объем рабочей камеры 1 несколько уменьшается. Это вызывает повышение давления рабочей жидкости и компенсационной камере 10, что приводит к деформации эластичной мембраны 11 и увеличению объема компенсационной камеры. Вследствие возникшего перепада давлений в рабочей и компенсационной камерах масса жидкости, распределенная в рабочей камере 1, начинает через дроссельные каналы 4 поступать во внутреннюю полость 5, расположенную в перегородке 6. Поскольку рабочая жидкость практически несжимаема, то одновременно через дроссельные каналы 9 она поступает в компенсационную камеру 10, ограниченную эластичной мем-

браной 11 и корпусом 13. При поступлении рабочей жидкости в промежуточную полость 5, вследствие турбулентных потоков и переходных процессов в верхней и нижней частях внутренней полости, на диафрагму 7 воздействуют знакопеременные стохастические нагрузки. Под действием этих нагрузок диафрагма начинает изгибаться по закону

$$u(r, t) = \sum_{n=1}^N A_n J_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \sin \left(\frac{a \mu_n}{R} t + \varphi_n \right),$$

где $u(r, t)$ – величина смещения элементов гибкой диафрагмы, A_n – амплитуда каждого отдельного колебания. Откуда видно, что свободные радиальные колебания диафрагмы складываются из N гармонических колебаний с частотами

$$\omega_m = \frac{A \mu_m}{R} = \frac{\mu_n}{R} \sqrt{\frac{T}{\rho}},$$

где $\mu = kR$, коэффициент k зависит от натяжения диафрагмы, T – натяжение диафрагмы, r – плотность, R – радиус. Узловые линии для круглой диафрагмы определяются из условия

$$J_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) = 0,$$

$J_0(kr)$ – функция Бесселя 1-го рода нулевого порядка. Отсюда следует, что n -я гармоника во входном вибросигнале имеет n узловых линий.

Дроссельные отверстия в диафрагме можно разместить и в ее узлах, и в пучностях. При выполнении дроссельных отверстий в узлах диафрагмы дросселирование рабочей жидкости через них происходит как в неподвижной перегородке, и эффект настройки гидропоры на заданную частоту спектра отсутствует. Однако для увеличения амплитуды A_n n -й гармоники в пучностях, образующей стоячие волны на диафрагме, их можно выполнять, но при этом в пучностях колебаний диафрагмы для обеспечения настройки на заданные частоты необходимо выполнить дополнительные дроссельные отверстия меньшей площади.

При работе гидропоры, настроенной на определенную частоту спектра входного вибросигнала, через дроссельные отверстия, расположенные в пучностях диафрагмы, рабочая жидкость протекает с большей скоростью, чем через отверстия, расположенные в узлах диафрагмы. Следовательно, диссипация энергии колебаний на данной частоте будет выше. Гидропоры подобного типа можно настраивать на определенные частоты и использовать их как заградительные узкополосные фильтры.

Аналогичные процессы происходят при сме-

не полярности входного вибросигнала.

Конструкция данной гидропоры предполагает разъемный вариант исполнения. Это позволяет экспериментировать с различными составами рабочей жидкости.

Демпфирование колебаний в гидропоре происходит, в основном, за счет сил инерции колеблющейся жидкости в рабочей и компенсационной полостях, дроссельных каналах и за счет внутреннего трения слоев жидкости при ее дросселировании. Данная конструкция обеспечивает большую диссипацию энергии колебаний на резонансных частотах.

Полученные экспериментально данные показывают, что критическое число Рейнольдса не универсально и что на процесс ламинарно-турбулентного перехода оказывают влияние индивидуальные свойства жидкости или газа [1–3].

Повышение температуры рабочей жидкости гидропоры приводит к возникновению в дроссельных каналах ее турбулентного течения.

Неизбежным следствием турбулентного течения рабочей жидкости в дроссельных каналах является наличие кавитационных пузырьков – пузырьков кластеров [4, 5], которые могут с течением времени объединяться в пузырьки большого размера (до объема воздушной полости, равного 1 см³ и более), что является отрицательным фактором, ведущим к постепенной разгерметизации гидропоры.

Работа выполняется при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант №08-08-970557-Р_Поволжье.

Список литературы

1. Гордеев Б.А., Ерофеев В.И., Синев А.В., Мугин О.О. Системы виброзащиты с использованием инерционности и диссипации реологических сред. М.: Физматлит, 2004. 175 с.
2. 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.
3. Гордеев А.Б., Булгакова, С.Ф. Тумаков, Охулков С.Н. Влияние газообразной фазы в рабочей среде на характеристики гидропор // Нелинейные колебания механических систем: VIII Всерос. науч. конф. 2008. Т. 2. С. 59–63.
4. Флинн Г. Физика акустической кавитации в жидкостях // Физическая акустика / Под ред. У. Мезона. М.: Мир, 1967. Т. 1, ч. Б. С. 7–138.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1978.

**TURBULENCE AND CAVITATION IN THE WORKING ENVIRONMENT
OF A HYDRAULIC VIBRATION SUPPORT**

A.N. Osmekhin, V.P. Gorskov, S.N. Okhulkov

The experiments conducted to investigate the various construction solutions for hydraulic supports have demonstrated the presence of the metal suspensions of 10^{-8} to 10^{-6} m size. It was suggested that these particles caused by the micro hydro blows. These blows could be excited by collapse of cavitation bubbles in the working medium, which appear as a result of turbulent flow in working medium through throttle channel of hydraulic support. The principal causes of cavitation of a hydraulic support are considered and the ways and recommendations for their reduction are suggested. Results of the research conducted in the testing laboratory of Nizhniy Novgorod branch of IMASH, Russian Academy of Sciences, are presented. Various methods of reduction and, as a consequence, elimination of cavitation of a hydraulic vibration support are considered.

Keywords: hydraulic vibration support, cavitation, turbulence, working liquid, vibration, experiment.