СНИЖЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ В СУДОВЫХ ТРУБОПРОВОДАХ СИСТЕМЫ ГИДРАВЛИКИ

REDUCING OF PRESSURE PULSATIONS OF WORKING MEDIUM IN SHIP PIPELINES HYDRAULIC SYSTEMS

УДК 62-26

Куклин Михаил Васильевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Океанотехника и энергетические установоки», Институт Судостроения и Морской Арктической техники, Северный Арктическтий Федеральный Университет, Россия, г. Северодвинск

Домничева Дария Николаевна, Студент 2 курс, факультет «Жизненный цикл судовых ядерных энергетических установок», Институт Судостроения и Морской Арктической техники, Северный Арктическтий Федеральный Университет, Россия, г. Северодвинск

Kuklin Mikhail Vasilyevich, e-mail: kuklinmikhail@rambler.ru

Domnicheva Daria Nikolaevna

Аннотация

Проблема снижения уровней пульсаций давления является актуальной для всех систем судовых энергетических установок, в которых используются капельные жидкости. К трубопроводным системам и энергетическим установкам предъявляются все более жесткие требования по надежности и улучшению виброакустических характеристик. В связи с этим проблема разработки мероприятий по снижению пульсаций давления становится все более актуальной. В статье рассматриваются причины повышенной виброактивности систем гидравлики при работе насосов, описаны конструкции гасителей

пульсации, приведены результаты натурных испытаний, даны рекомендации по практическому использованию гасителей пульсаций.

Annotation

The problem of reducing the levels of pressure pulsations is relevant for all systems of ship power plants that use drip fluids. Pipeline systems and power plants are subject to increasingly stringent requirements for reliability and improvement of vibroacoustic characteristics. In this regard, the problem of developing measures to reduce pressure pulsations is becoming more and more urgent. The article discusses the causes of increased vibration activity of hydraulic systems during pump operation, describes the design of pulsation dampers, presents the results of field tests, and provides recommendations for the practical use of pulsation dampers.

Ключевые слова: пульсации давлений, трубопроводная система, насос, вибрация, система гидравлики, рабочая среда.

Keywords: pressure pulsations, pipeline system, pump, vibration, hydraulic system, working environment.

Система гидравлики более надежна и удобна в эксплуатации и имеет лучшие массогабаритные характеристики по сравнению с другими системами дистанционного управления, например, электрическими или пневматическими.

Преимущества гидравлической системы:

- широкий диапазон бесступенчатого регулирования;
- простота управления и предохранения от перегрузок;
- большая передаваемая мощность на единицу массы привода;
- смазка работающих поверхностей рабочей жидкостью;
- свобода компоновки оборудования.

Недостатки гидравлической системы:

- необходимость борьбы с утечками через уплотнения и зазоры;
- проникновение воздуха в систему;
- необходимость применения оборудования для поддержания температуры (теплообменники) и качества рабочей среды (фильтры).

Как известно, основной причиной снижения надежности и долговечности трубопроводов гидравлических систем являются вибрационные разрушения, а одним из главных источников возбуждения механических колебаний являются пульсации давления рабочей среды.

Проанализировав научно-техническую литературу [1, 2] можно сказать, что в спектрах вибрации шума трубопроводных систем гидравлики имеются ярко выраженные дискретные составляющие уровней колебаний на оборотных, плунжерных частотах и их гармониках. Над сплошной частью спектра они возвышаются от 10 до 30 дБ и более.

На рисунке 1 представлены уровни вибрации на фундаменте при работе трехвинтового насоса гидравлики (N = 3000 об/мин). Оборотная частота насоса определяется по формуле: $f_{об} = N / 60 = 3000 / 60 = 50$ Гц, а кратные ей гармоники: $n \cdot f_{об}$, где n = 1, 2, 3...

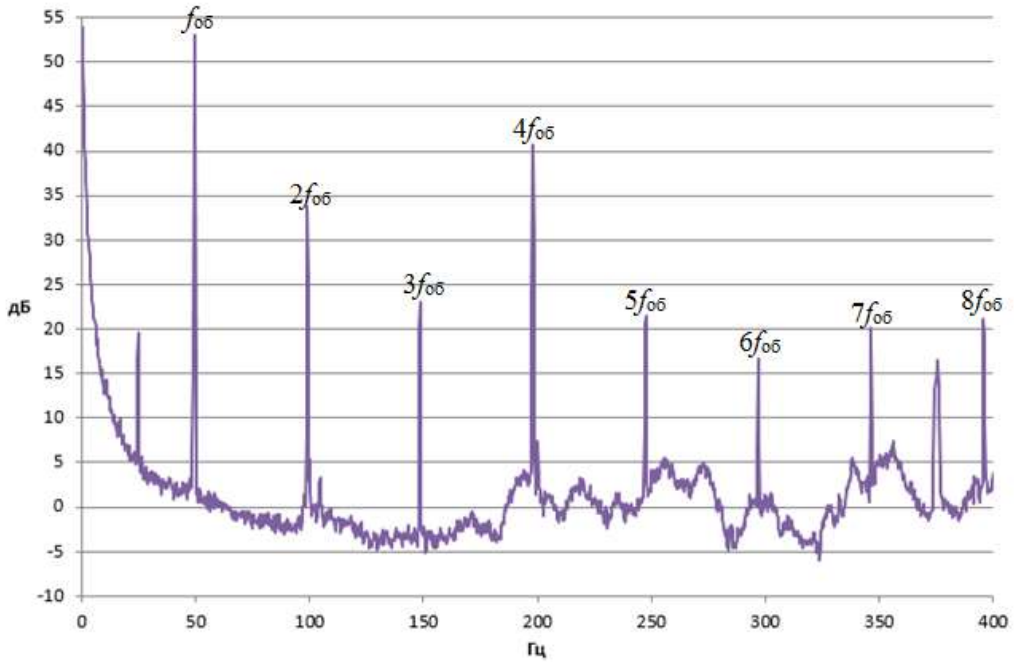


Рисунок 1. Спектр уровней вибрации на фундаменте трехвинтового насоса в частотном диапазоне 0-400 Гц

При работе винтового насоса наблюдается пульсация подачи, обусловленная сжимаемостью жидкости и обратным потоком в момент перехода очередной рабочей камеры из полости всасывания в полость нагнетания.

Периодичность соединения этих камер с полостью нагнетания приводит к пульсациям давления [3].

Следовательно, мощными источниками низкочастотных колебаний в трубопроводных системах являются насосы. Поскольку не всегда удается достаточно снизить амплитуду пульсаций давлений в самом источнике, то возникает проблема борьбы с распространением энергии колебаний по трубопроводам [4]. Для снижения уровней пульсаций давления до требуемых норм, необходимо использовать в гидравлических системах гасители пульсаций давления.

В общем случае гаситель пульсации, как специальное включение в трубопроводную систему, должно препятствовать распространению колебательной энергии либо за счет механического воздействия на поток, вызывающего необратимые потери этой энергии, либо за счет упругоинерционного воздействия, взывающего отражение энергии пульсации обратно к источнику.

Гасители пульсаций, в которых энергия колебаний рассеивается за счет трения, называются активными. Гасители пульсаций, работающие как акустические фильтры, препятствующие прохождению колебаний определенных частот от источника в трубопроводную систему, называются реактивными.

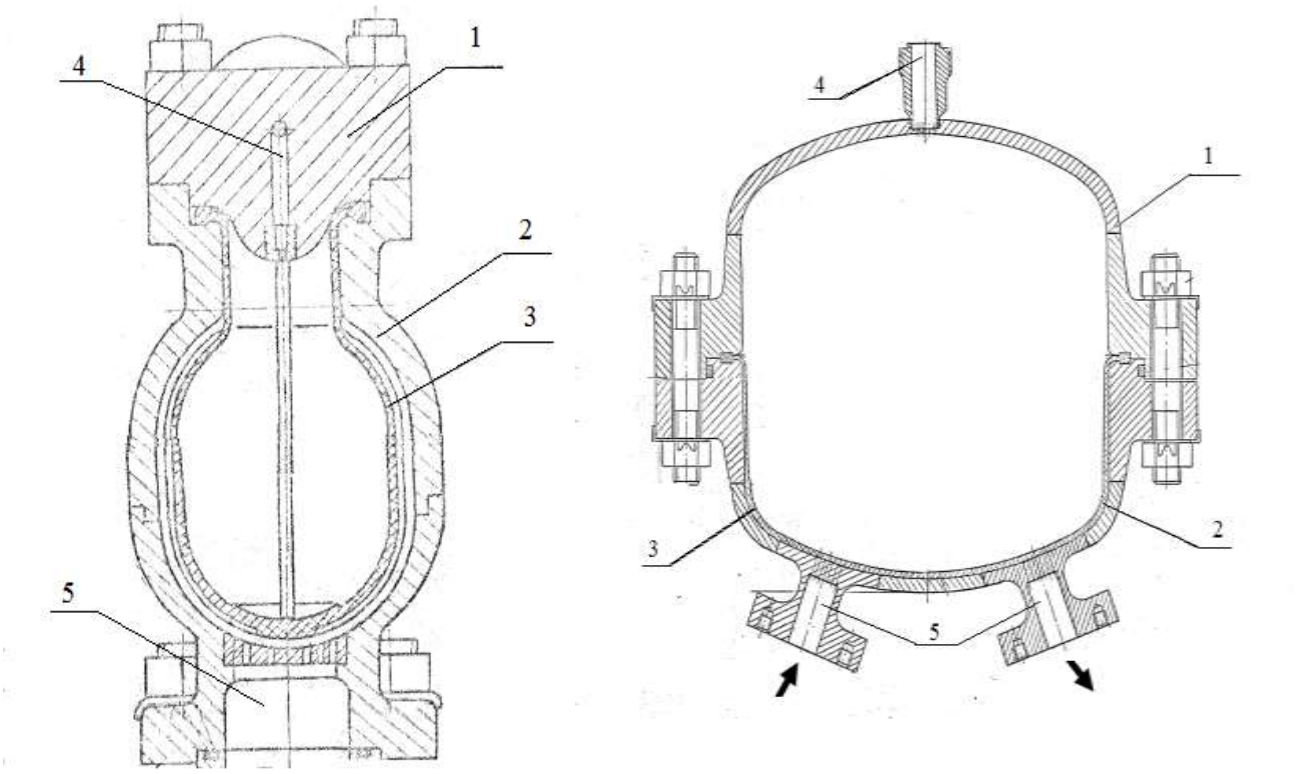
Простейший способ реализации гасителей пульсаций активного типа заключается во введении на пути потока рабочей среды различных местных сопротивлений: диафрагм, дроссельных шайб, пористых элементов и т.п. Однако, стоит учитывать то обстоятельство, что при использовании подобных устройств существенно возрастает гидравлическое сопротивление трубопроводной системы, затрачивается значительная мощность на подачу потока рабочей среды. Это приводит к уменьшению ресурса насосов, что к гидравлической системе судовой гидравлики неприемлемо.

Поэтому для ограничения интенсивности пульсаций давления в гидравлической системе целесообразно использовать гасители пульсаций

реактивного типа. Простейшие гасители пульсаций реактивного типа представляют собой элементы, обладающие достаточными аккумулирующими или инерционными свойствами.

Прежде чем остановится на выборе конструкции гасителя пульсаций для системы судовой гидравлики, рассмотрим типы существующих гасителей.

Гасители пульсаций давления с резиновыми мембранами, заполненные воздухом, представлены на рисунке 2.



а) колпак напорный б) гаситель пульсаций мембранный

Рисунок 2. Гасители пульсаций: 1 – крышка; 2 – корпус; 3 – резиновая мембрана; 4 – подвод воздуха; 5 – горло

При установке на напорном трубопроводе трехвинтового насоса марки ЭНН 0,4/20-4 гасителя пульсации (рисунок 2, б) уровни пульсаций давления снизились в 2,5 раза (рисунок 3), а уровни пульсаций давлений на дискретной составляющей оборотной частоты и ее гармониках снизились на величину до 20 дБ.

Устройства гасителей пульсации для нормальной работы должно быть таким, чтобы они могли преобразовать неустановившееся инерционное движение рабочей среды в установившееся безынерционное.

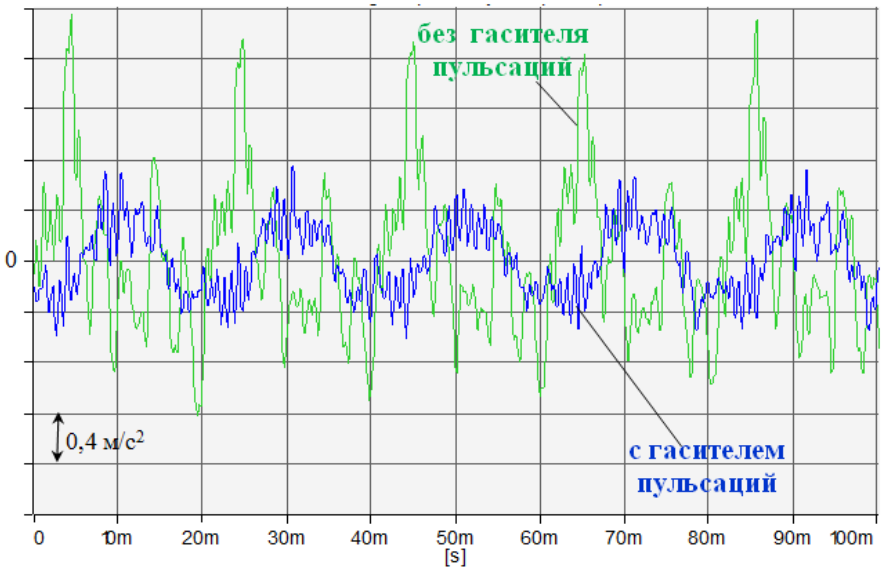
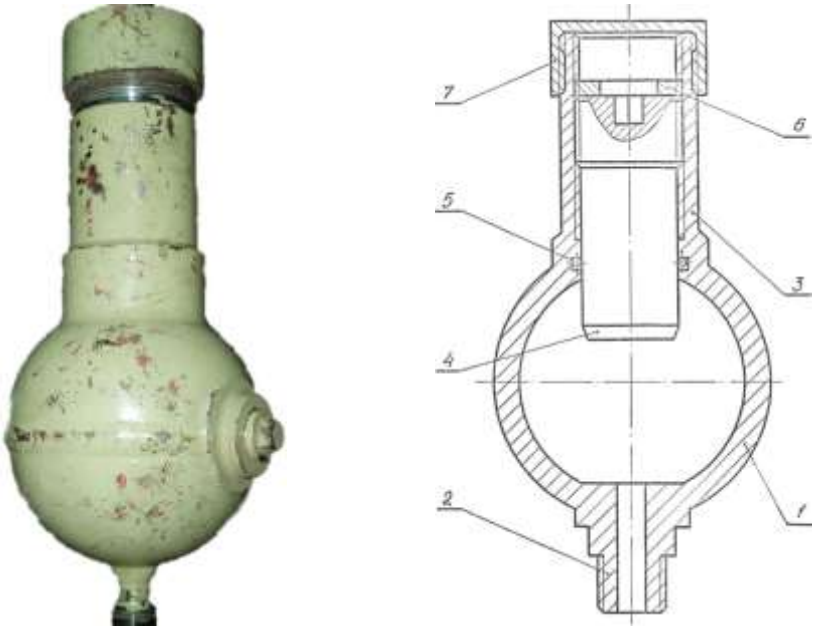


Рисунок 3. Осциллограмма пульсаций давления с датчика, установленного на напорном трубопроводе насоса в частотном диапазоне до 12,8 кГц

Гасители пульсаций на основе резонаторов Гельмгольца (рисунок 4) являются наиболее перспективным звукоизолятором [5, 6], поскольку его жесткость может быть существенно уменьшена путем введения в емкость резонаторов упругих элементов. Кроме того, резонатор, расположенный на стенке трубопровода не создает гидродинамического сопротивления протекающему потоку.



а) б)

Рисунок 4. Резонатор Гельмгольца для гашения пульсаций давления жидкости: а) фотография внешнего вида; б) разрез резонатора: 1 – корпус; 2 – штуцер;

3 – хвостовик; 4 – шток; 5 – резиновое уплотнительное кольцо; 6 – стопорная гайка; 7 – крышка

Приведем результаты испытаний резонаторов в реальных условиях работы системы рулевой гидравлики [1] с насосами переменной производительности марки НА360СА, имеющими расход Q=0-360 л/мин, напор Н=0-16МПа. Насосы имеют электропривод с частотой оборотов двигателя $f_{об}$=968об/мин и n=9 плунжеров. Наибольшие уровни пульсаций давления имели место на плунжерной частоте $f_{пл}=f_{об}\cdot n$=16·9 Гц=144 Гц. На эту частоту настраивались резонаторы Гельмгольца, с помощью регулировки объема полости резонатора. Испытания проводились в судовых условиях в 6 системах рулевой гидравлики, в каждой из которых имелось по 2 насосных агрегата НА360СА, на одном из которых были резонаторы, а на другом их не было. По паспортным данным все 12 насосов имели близкие друг к другу виброакустические характеристики. Оценку эффективности установки резонаторов проводили по уровням вибраций, измеренных в системе рулевой гидравлики как разницу между уровнями, полученными при работе насоса без резонаторов и уровнями, полученными при работе насосов с резонаторами. Данные испытаний, полученные при оборотах автономного турбогенератора $N_{об}$=3000об/мин ($f_{об}$=50Гц) приведены в таблице.

Таблица 1

Эффективность установки резонаторов по вибрации в системе рулевой гидравлики судна

Контрольная точка измерений	Снижение уровней вибрации в дБ					
Гидравлические тракты	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Лапа насоса	4	1	5	5	3	4
Блок золотников	9	10	9	12	9	8
Гидроцилиндр	7	9	3	9	10	8

Из таблицы следует, что при работе насоса с установленными резонаторами наблюдается снижение уровней вибрации до 12 дБ на плунжерной частоте в контрольных точках измерения.

Выводы

Применение гасителей пульсаций является наиболее технически и экономически рациональным средством для снижения пульсаций рабочих сред в трубопроводных системах энергетических установок на дискретных составляющих и в широкополосных областях частот.

Для снижения пульсаций давления рабочей среды в напорных трубопроводах системы гидравлики необходимо применять высоконапорные малогабаритные гасители пульсации, расположенные максимально близко к насосам, как ЦКБ-проектантами при проектировании судов, так и заводами-строителями при доведении до требований по виброшумовым характеристикам.

Литература

1. Горин С.В., Куклин М.В. Особенности использования глушителей гидродинамического шума на судах // Судостроение. 2010. №3. С. 44-46.
2. Куклин М.В. Снижение шума и вибрации в системах судовой гидравлики // Судостроение. 2019. №5. С. 34-35.
3. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. Москва: Машиностроение, 1974. 606 с.
4. Шорин В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах. Москва: Машиностроение, 1980. 256 с.
5. Куклин М.В. Использование присоединенных резонаторов в гидросистемах для снижения шума и вибрации // Машиностроение и инженерное образование. 2011. №4. С. 2-5.
6. Горин С.В., Куклин М.В. Эффективность работы резонаторов Гельмгольца в замкнутых волноводах с жидкими рабочими средам // Акустический журнал. 2012. Том 58. №3. С. 396-401.

Literature

1. Gorin S. V., Kuklin M. V. Features of the use of hydrodynamic noise silencers on ships. 2010. No. 3. pp. 44-46.
2. Kuklin M. V. Reduction of noise and vibration in ship hydraulics systems. 2019. No. 5. pp. 34-35.

3. Bashta T. M. Volumetric pumps and hydraulic motors of hydraulic systems. Moscow: Mashinostroenie, 1974. 606 p.
4. Shorin V. P. Elimination of vibrations in aviation pipelines. Moscow: Mashinostroenie, 1980. 256 p.
5. Kuklin M. V. The use of attached resonators in hydraulic systems for reducing noise and vibration / / Mashinostroenie i enginernoe obrazovanie. 2011. No. 4. pp. 2-5.
6. Gorin S. V., Kuklin M. V. Efficiency of Helmholtz resonators in closed waveguides with liquid working media // Acoustic magazine. 2012. Volume 58. No. 3. pp. 396-401.