

УДК 62-752.2

ГАСИТЕЛИ ПУЛЬСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ КАК СРЕДСТВО УЛУЧШЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТЕНДОВ

© 2012 Э. Г. Берестовицкий¹, Ю. А. Гладилин¹, А. Н. Крючков²,
А. Е. Фёдоров¹, А. А. Франтов¹, Е. В. Шахматов²

¹ОАО «Концерн «НПО «Аврора», г. Санкт-Петербург

²Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Статья посвящена разработке и исследованию специальных гасителей колебаний давления рабочей среды для снижения собственного гидродинамического шума испытательных стендов. Представлены конструктивные схемы гасителей колебаний и результаты исследования их эффективности в составе стендовой системы виброакустических испытаний компонентов судовых гидравлических систем.

Гидродинамический шум, измерения, пульсации давления, турбулентность, эффективность гасителя, гидравлическая система.

Актуальность исследований особенностей возбуждения и подавления пульсаций давления и гидродинамического шума (ГДШ) подтверждается многочисленными конкретными техническими проблемами разработки и доводки гидравлических систем различного назначения. Так, например, при создании компонентов гидравлических судовых систем проводятся исследование и доводка ви-

броакустических характеристик (ВАХ) устройств. Важной проблемой при этом является корректное определение ВАХ (прежде всего ГДШ) в условиях значительных акустических и гидродинамических помех, возбуждаемых различным стендовым оборудованием. Укрупнённая схема стенда по исследованию ВАХ представлена на рис. 1.

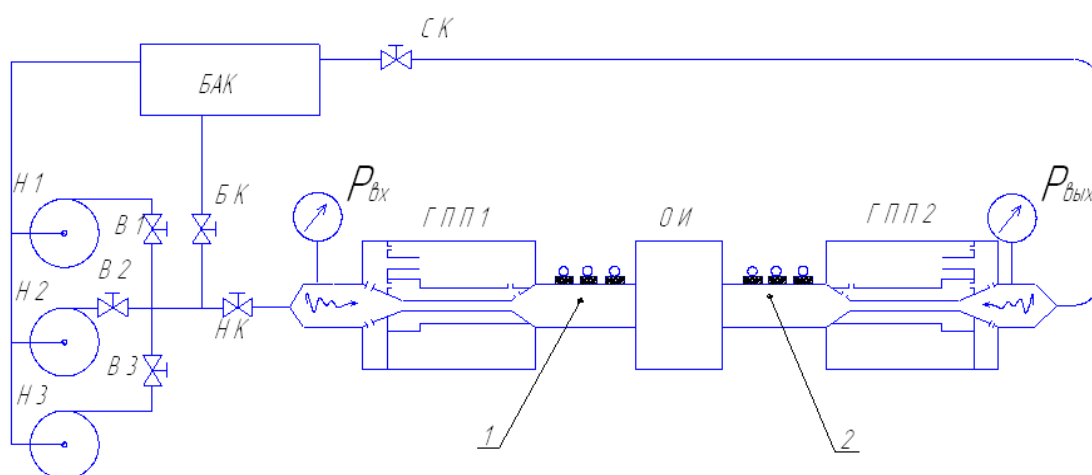


Рис.1. Схема стенда для определения ВАХ элементов гидросистемы:
Н1, Н2, Н3 – насосы различной производительности; БК, НК, СК – байпасный, напорный и сливной клапана; ГПП1, ГПП2 – входной и выходной гасители пульсации потока; В1, В2, В3 – вентили переключения насосов; ОИ – объект испытаний; 1, 2 – входной и выходной измерительные участки

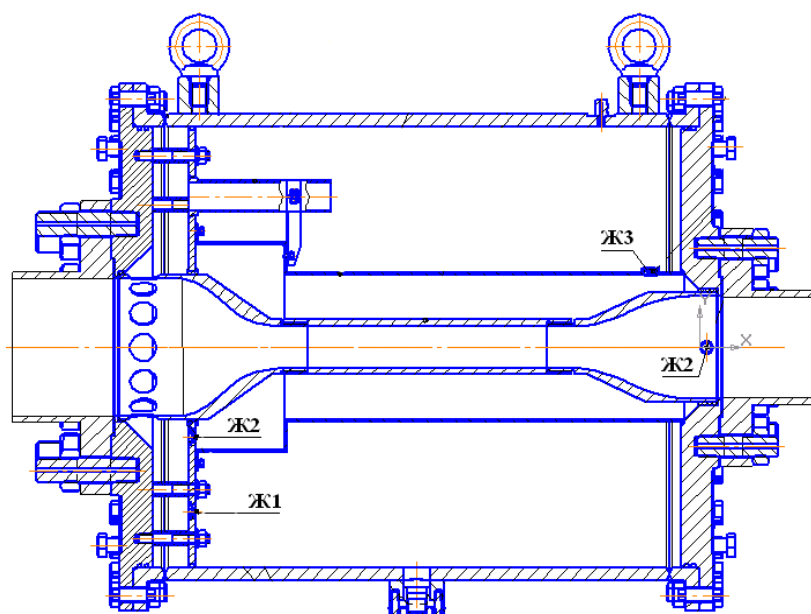


Рис. 2. Конструктивная схема гасителя ГПП1

При испытаниях требуемые режимы устанавливаются за счёт совместного управления напорным, сливным и байпасным клапанами. ВАХ испытуемого агрегата определяются по пульсациям давления до и после агрегата, а также по вибро-состоянию агрегата. Процесс определения собственных ВАХ испытуемых агрегатов весьма затрудняется вследствие наличия значительного фона акустических и гидродинамических помех. Так, интенсивные акустические возмущения в стендовую систему вносят насосные агрегаты, возбуждающие целый ряд дискретных составляющих на роторных и лопастных гармониках. Широкополосный гидродинамический фон обусловлен работой клапанов и потоками рабочей среды в магистралях стенда. Спектрограммы помех на входе в объект испытаний включает широкополосную шумовую составляющую в диапазоне частот 5...800 Гц и дискретные гармоники насоса с частотами в диапазоне 50...250 Гц. Анализ гидродинамической помехи показывает, что на малых расходах рабочей среды преобладают насосные гармоники, а на больших расходах – широкополосный гидродинамический шум клапанов и других элементов стенда.

В целях снижения влияния ГДШ стендовых систем на измеряемые виброакустические параметры объекта испытаний разработаны гасители пульсаций потока ГПП1 и ГПП2, устанавливаемые на входе и выходе измерительных участков с объектом исследований (рис.1). Применение специальных гасителей колебаний во многих случаях является наиболее технически и экономически рациональным средством снижения пульсаций рабочих сред. Использование гасителей в различных трубопроводных системах и их эффективность достаточно широко освещена в литературе [1,2,3,4]. В настоящей работе рассматривается возможность применения гасителей турбулентных пульсаций давления для снижения уровня собственных помех гидравлического стенда проверки гидроаппаратуры и даётся оценка их эффективности.

Конструктивная схема гасителя ГПП1, разработанного для стендовой гидросистемы испытаний судовой арматуры, представлена на рис. 2. Гаситель имеет цилиндрический корпус, внутренняя полость которого цилиндрической вставкой разделена на две камеры: наружную и внутреннюю. Внутренняя цилиндрическая камера через отверстия жиклёров Ж2 на

входе и выходе сообщается со входом и выходом профилированного проточного тракта гасителя. Конструкция гасителя ГПП2 отличается лишь профилем центрального канала, который обеспечивает минимум гидравлических потерь. Это связано со спецификой работы гасителей ГПП1 и ГПП2, причём в первом из них направление потока среды и распространения подавляемых пульсаций совпадает, а во втором эти направления противоположны (рис.1).

Таким образом, гасители колебаний ГПП1 и ГПП2 имеют одинаковые электродинамические схемы, состоящие из параллельно соединённых:

- 1) центрального индуктивного канала с длиной $l_{ц}$ и эквивалентной площадью $S_{ц}$;
- 2) периферийного резонатора Гельмгольца, горло которого с длиной l_r и площадью S_r соединено со входом гасителя, а акустическая ёмкость объёмом $V_{рез}$ через гидравлическое сопротивление R_1 соединено с выходом гасителя;
- 3) промежуточной акустической емкости объёмом $V_{пр}$, соединённой через гидравлические дроссели с сопротивлением R_2 со входом и выходом гасителя.

При этом между параметрами гасителя выполняются следующие соотношения:

$$f_{рез} = \frac{a}{2p} \sqrt{\frac{S_c}{l_c V_{рез}}}; \quad f_{cp} = \frac{a}{2p} \sqrt{\frac{S_{ц}}{l_{ц} V_{np}}};$$

$$R_2 = \frac{r}{a} \sqrt{\frac{l_k}{S_k V_{np}}}; \quad R_1 = 2R_2.$$

Здесь a – скорость звука в рабочей среде с плотностью ρ ; $f_{рез}$ – частота настройки резонатора Гельмгольца, f_{cp} – граничная частота контура, образованного центральным индуктивным каналом и промежуточной акустической ёмкостью объёмом V_{np} с сопротивлениями R_2 .

Расчёт по вышеуказанным формулам дал следующие характерные частоты гасителей: частота настройки резонатора Гельмгольца 43 Гц и граничная частота внутреннего контура 76 Гц.

На трубопроводном стенде НПО «Аврора» проводились испытания данных гасителей на проставышах (устройствах, вместо которых устанавливаются испытываемые изделия) диаметром 150 и 80 миллиметров. Измерения гидродинамического шума производятся на входе и выходе при помощи гидрофонов. Экспериментальное подтверждение эффективности полученных конструктивных решений показано на рис. 3.

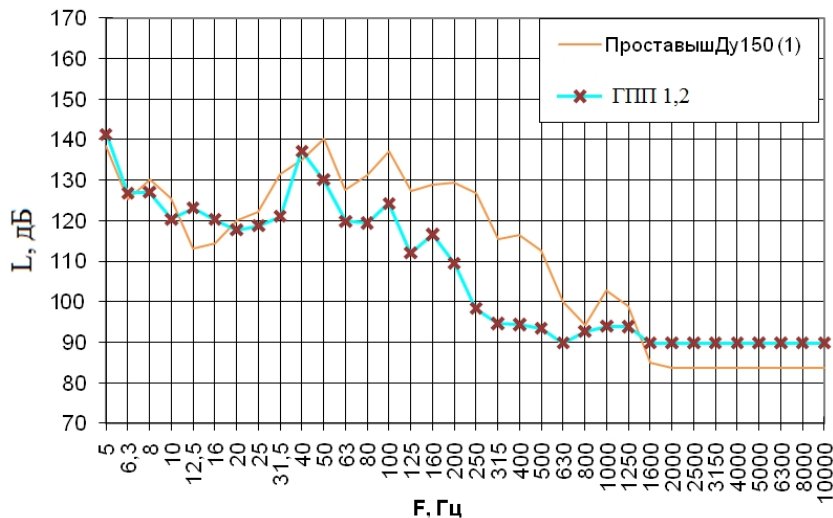


Рис. 3. Уровни гидродинамического шума с гасителями и без них (вместо гасителей установлен проставыши)

На рис. 3 представлена спектрограмма для уровней ГДШ, измеряемых на трубопроводе диаметром 150 мм без глушителей – кривая «Проставыш ДУ150(1)» и с глушителями по обеим сторонам трубопровода – кривая «ГПП1,2». Измерения представлены для давления 2 МПа и расхода воды 0,007 м³/с (25 м³/ч). Из рис. 3 видно, что наибольшая эффективность 15...25 дБ применения глушителей наблюдается в диапазоне частот 125...630 Гц.

Эффективность гасителя рассчитывается по коэффициенту собственного затухания K_c , так как неизвестны динамические характеристики присоединённых

магистралей на его входе и выходе. Частотные зависимости эффективности гасителей представлены на рис. 4. Экспериментальная эффективность гасителей определяется как разность уровней (в децибелах) ГДШ: исходного на проставыше в системе без гасителей и на выходе ГПП1 (рис.1) на соответствующих режимах:

$$\Delta L_{ГПП} = L_{ИСХ} - L_{ВЫХ.ГПП1}$$

Из рис. 4 следует качественная, а в диапазоне частот 40...400 Гц и количественная корреляция расчётных и экспериментальных данных.

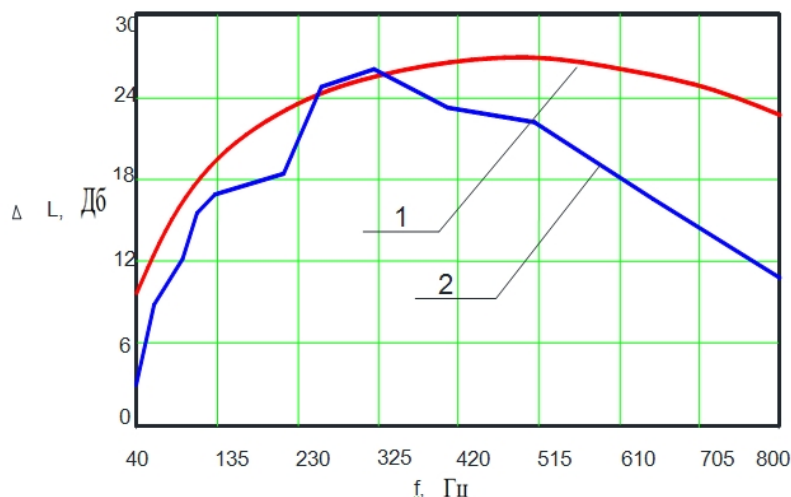


Рис. 4. Расчётная (1) и экспериментальная (2) эффективности гасителей

Результаты проведённых исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение ГПП является эффективным средством улучшения акустических характеристик стенда.

2. Эффективность работы ГПП в значительной степени зависит от режима (определённого расходом и давлением в стендовой системе), что связано с двумя важными факторами: *a* – изменением волновой картины в системе при изменении положения запорно-регулирующих кла-

панов; *б* – изменением собственных свойств гасителя при изменении рабочего давления (из-за наличия вероятных воздушных пробок) и расхода (определяющего собственный шум гасителя).

3. Полученная методика расчёта эффективности ГПП показала качественную сходимость экспериментальных и расчётных результатов.

В дальнейшем необходимо развитие методов расчёта гасителей колебаний с учётом их собственного возбуждения турбулентного шума.

Библиографический список

1. Использование гасителей колебаний давления для снижения виброакустической нагруженности гидромеханических систем [Текст] / Е.В. Шахматов, А.Н. Крючков, А.Б. Прокофьев [и др.] // Судостроение. – 2011. – № 3. – С.45-48.

2. Горин, С. В. Особенности использования глушителей гидродинамического шума на судах [Текст] / С.В. Горин, М. В. Куклин // Судостроение. – 2010. – №3. – С. 44-45.

3. Горин, С.В. Эффективность ра-

боты резонаторов Гельмгольца в замкнутых волноводах с жидкими рабочими средами [Текст] / С.В. Горин, М.В. Куклин. // Акустический журнал. – 2012. – Т. 58. – № 3. – С. 396-401.

4. Берестовицкий, Э.Г. Методика оценки эффективности глушителя гидродинамического шума на основе резонатора Гельмгольца. [Текст] / Э.Г. Берестовицкий, Б.П. Брайнин, А.А. Франтов // Системы управления и обработки информации: науч.-техн. сб. Вып. 22. – СПб: ОАО «Концерн «НПО «Аврора», 2011. – С. 160-165.

PRESSURE PULSATION DAMPERS AS A MEANS OF IMPROVING THE INHERENT VIBROACOUSTIC CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC TEST RIGS

©2012 E. G. Berestovitsky¹, Yu. A. Gladilin¹, A. N. Kryuchkov²,
A. Ye. Fyodorov¹, A. A. Frantov¹, Ye. V. Shakhmatov²

¹Concern «Aurora» plc, Saint Petersburg

²Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The paper is devoted to the design and investigation of special dampers of working environment pressure pulsations intended to reduce the inherent hydrodynamic noise of test rigs. Structural designs of pressure pulsation dampers and the results of analyzing their efficiency in vibroacoustic tests of ship hydraulic system components are presented.

Hydrodynamic noise, measurements, pressure pulsations, turbulence, damper efficiency, hydraulic system.

Информация об авторах

Берестовицкий Эрлен Григорьевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник. Главный акустик, начальник лаборатории Центра разработки и испытаний электрогидравлической аппаратуры, ОАО «Концерн «НПО «Аврора». E-mail: berest40@mail.ru. Область научных интересов: виброакустика, разработка и испытания электрогидравлической аппаратуры.

Гладилин Юрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент. Специалист по виброшумовым характеристикам лаборатории Центра разработки и испытаний электрогидравлической аппаратуры, ОАО «Концерн «НПО «Аврора». E-mail: gladil_01@mail.ru. Область научных интересов: виброакустика, разработка и испытания электрогидравлической аппаратуры.

Крючков Александр Николаевич, доктор технических наук, доцент кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kan@ssau.ru. Область научных интересов: акустика, лопаточные и объёмные насосы.

Фёдоров Андрей Евгеньевич, кандидат технических наук, директор направления научных исследований и опытно-конструкторских разработок, ОАО «Концерн «НПО «Аврора». E-mail: andrey.fyodorov39@jndecs.ru. Область научных интересов: системы управления техническими средствами, разработка и испытания электрогидравлической аппаратуры.

Франтов Андрей Анатольевич, инженер второй категории лаборатории Центра разработки и испытаний электрогидравлической аппаратуры, ОАО «Концерн «НПО «Аврора». E-mail: aafrantov@gmail.com. Область научных интересов: виброакустика, разработка и испытания электрогидравлической аппаратуры.

Шахматов Евгений Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: shakhm@ssau.ru. Область научных интересов: виброакустика.

Berestovitsky Erlen Grigoryevich, doctor of engineering, senior researcher. Chief expert in acoustics, head of laboratory, Centre of design and testing of electrohydraulic equipment, Concern «Aurora» plc. E-mail: berest40@mail.ru. Area of research: vibroacoustics, design and testing of electrohydraulic equipment.

Gladilin Yury Alekseevich, candidate of technical science, associate professor. Expert in vibronoise characteristics, laboratory of the Centre of design and testing of electrohydraulic equipment, Concern «Aurora» plc. E-mail: gladil_01@mail.ru. Area of research: vibroacoustics, design and testing of electrohydraulic equipment.

Kryuchkov Alexander Nikolaevich, doctor of engineering, associate professor, the department of automatic systems of generating units, Samara State Aerospace University named after S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: kan@ssau.ru. Area of research: acoustics, impeller-type and positive-displacement pumps.

Fyodorov Andrey Yevgenyevich, candidate of technical science, R&D director, Concern «Aurora» plc. E-mail: andrey.fyodorov39@jndecs.ru. Area of research: control systems of technical facilities, design and testing of electrohydraulic equipment.

Frantov Andrey Anatolyevich, engineer of the second category, laboratory of the Centre of design and testing of electrohydraulic equipment, Concern «Aurora» plc. E-mail: aafrantov@gmail.com. Area of research: vibroacoustics, design and testing of electrohydraulic equipment.

Shakhmatov Yevgeniy Vladimirovich, doctor of engineering, professor, the department of automatic systems of generating units, Samara State Aerospace University named after S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: shakhm@ssau.ru. Area of research: vibroacoustics.