

## СТЕНДОВЫЙ КОМПЛЕКС СИНХРОННОГО КОНТРОЛЯ ВИБРОШУМОВЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Э.Г. Берестовицкий,  
Ю.А. Гладиллин,  
А.А. Франтов

АО «Концерн «НПО «Аврора»

ул. Карбышева, 15,  
г. Санкт-Петербург,  
Российская Федерация, 196024

mail@avrorasystems.com

*В работе рассмотрены результаты создания и применения автоматизированной системы синхронного контроля виброшумовых и функциональных характеристик электрогидравлической аппаратуры на специализированном гидравлическом стенде.*

*С ростом скорости протекания процессов в электрогидравлической аппаратуре, количества параметров оценки и требований, предъявляемых к перспективным образцам, возрастает потребность и актуальность во внедрении на специализированных испытательных стендах автоматизированных систем, способных осуществлять запись широкого перечня характеристик. Процесс контроля таких характеристик осложняется необходимостью проведения испытаний электрогидравлической аппаратуры, как на стационарных, так и нестационарных, быстротекающих режимах её работы. При этом измерение параметров должно осуществляться синхронно и достоверно. Для обеспечения этих условий для создания автоматизированной системы были сформулированы ряд требований, как к оборудованию, так и к программному обеспечению, исходя из критериев функциональности, мобильности, гибкости, модернизируемости и обслуживаемости оборудования.*

*Помимо аппаратной части было создано специализированное программное обеспечение. Оно включает в себя унифицированную оболочку анализа и регистрации данных, а также SCADA-проекты, представляющие из себя результат объектно-ориентированного программирования.*

*Использование автоматизированной системы измерения, интегрированной в состав стендового комплекса, позволило осуществить:*

- синхронное автоматизированное регистрирование различных параметров, характеризующих быстротекущие процессы (давление, расход, перемещение, температура, вибрация);
- взаимную передачу данных с автоматизированной системы измерений на специализированный управляющий комплекс.

*Расширившиеся измерительные возможности позволили более всесторонне оценивать виброшумовые и функциональные характеристики работы электрогидравлической аппаратуры, определять их взаимосвязь, осуществлять настройку и доработку конструктивных решений такой аппаратуры, достигая требуемых параметров её работы.*

**Ключевые слова.** Измерения; синхронность; виброшумовые характеристики; функциональные характеристики; электрогидравлическая аппаратура

### 1 Введение

В процессе разработки и производства современной управляемой электрогидравлической аппаратуры (ЭГА) из состава исполнительной части систем

управления техническими средствами (СУ ТС) особую роль приобретают средства экспериментального определения и контроля её функциональных и виброшумовых характеристик.

Такие испытания необходимы, в первую очередь, на этапе разработки новых конструкций устройств с целью доведения их параметров работы до заданных величин, определённых целями создания. Зачастую требуется определять взаимно влияющие гидравлические параметры работы ЭГА, параметры быстродействия, температурные режимы функционирования, вибрации и шума.

Испытание характеристик ЭГА выполняется на специализированных гидравлических стендах, оборудованных средствами измерения (СИ) контролируемых параметров.

Общие правила построения таких стендов сформулированы как в отраслевых методиках, так и рядом авторов в своих публикациях [1]. Как правило, в них рассматривается создание таких установок для целей испытания серийной ЭГА на соответствие действующим нормативам.

В современных реалиях с ростом скорости протекания процессов в ЭГА, количества параметров оценки и ужесточения требований, предъявляемых к перспективным образцам, возрастает потребность и актуальность во внедрении на специализированных испытательных стендах автоматизированных систем, способных осуществлять запись широкого перечня характеристик. Процесс контроля таких характеристик осложняется необходимостью проведения испытаний ЭГА как на установившихся, так и на нестационарных, быстропротекающих режимах её работы. При этом измерение параметров должно осуществляться синхронно и достоверно.

Одним из наиболее авторитетных производителей систем измерения шума и вибрации является датский бренд Brüel & Kjær. Который на протяжении 75 лет развивает свои продукты. В настоящее время производителем предлагается широкий спектр, как первичных преобразователей, так и анализирующего оборудования. Также предлагаются мощные программные продукты по обработке

фиксируемых сигналов и проведению их последующего анализа и интерпретации. Производитель приводит широкий спектр задач, для решения которых используется его продукты [2]. В то же время стоит отметить сложности, возникающие при интеграции продуктов Brüel & Kjær в разветвлённые системы проведения измерений, ввиду их «узкой» направленности на проведение акустических испытаний. Поэтому наиболее целесообразно пользоваться более универсальными продуктами других производителей, позволяющими выполнять контроль и измерение не только акустических параметров, но и функциональных характеристик. При этом такие производители также предлагают гибкие программные средства, позволяющие организовывать испытания различной степени сложности и синхронизировать контролируемые параметры. Крупнейшим отечественным производителем таких средств выступает компания ZETLab. Именно их аппаратные решения и программные продукты легли в основу системы, рассматриваемой в данной статье [3]. Ещё одним положительным фактором при выборе отечественных решений является возможность глубокого взаимодействия с производителем по адаптации измерительных средств для решения узкоспециализированных отраслевых задач.

В представленной работе приводится пример реализации подхода по внедрению системы контроля характеристик (СКХ) в состав специализированного стенда проверки ЭГА. Для её создания были сформулированы ряд требований, как к оборудованию, так и к программному обеспечению, исходя из критериев функциональности, мобильности, гибкости, модернизируемости и обслуживаемости оборудования.

## 2 Разработка и экспериментальная апробация системы контроля характеристик

Специализированный гидравлический стенд, предназначенный для испытания характеристик ЭГА, содержит в своём составе различные устройства и технические средства. Общая схема такого стенда приведена на рисунке 1.

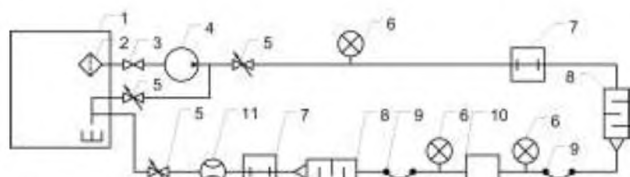


Рисунок 1. Схема гидравлического испытательного стенда

1 – расходный бак; 2 – фильтр; 3 – запорный клапан; 4 – насосная установка; 5 – управляющие клапаны (напорный, байпасный, подпорный); 6 – манометры; 7 – виброзадерживающий массив; 8 – глушители; 9 – гибкие вставки; 10 – объект испытания на измерительном участке; 11 – расходомер.

На приведённой схеме представлен гидравлический стенд насосного типа, где подача рабочей среды осуществляется насосами в составе насосной установки [4]. В качестве объектов испытания может выступать широкая номенклатура ЭГА, подвергаемая квалификационным испытаниям на соответствие требованиям, а также опытным работам по отработке перспективных конструкций. Всё это накладывает необходимость контроля широкого перечня параметров, характеризующих работу исследуемого объекта. В ходе испытаний должны контролироваться:

1. Параметры рабочей жидкости:
  - давления;
  - перепады давлений;
  - расход;
  - температура.
2. Характеристики работы прибора:
  - перемещение и положение рабочих органов;
  - время срабатывания;
  - вибрационные и акустические характеристики.

Процесс контроля таких характеристик осложняется необходимостью проведения испытаний ЭГА как на стационарных, так и нестационарных, быстропротекающих режимах её работы. При этом измерение параметров должно осуществляться синхронно и достоверно.

Для обеспечения этих условий для создания СКХ были сформулированы требования, как к оборудованию, так и к программному обеспечению, исходя из критериев функциональности, мобильности, гибкости, модернизируемости и обслуживаемости оборудования. Отметим эти критерии.

Критерий функциональности:

- возможность синхронного проведения испытаний различных физических величин;
- возможность получения и сохранения результатов испытаний в удобной форме (распространённые форматы файлов получаемых протоколов);
- получение результатов в виде протоколов установленной формы и с учётом действующих методик с возможностью последующего вывода на печать;
- возможность дополнительного анализа полученных сигналов.

Критерий мобильности:

- небольшие габариты комплекса и его элементов;
- реализация на основе мобильных устройств и возможность автономной работы.

Критерий гибкости:

- возможность применения внешних источников данных (расходомеры, термометры, датчики давления и др.);
- возможность встраивания в автоматизированную систему проведения испытаний, наличие соответствующих программных и аппаратных средств.

Критерии модернизируемости и обслуживаемости:

- масштабируемость количества анализируемых сигналов;

- поддержка производителем ПО и аппаратной части, актуальные версии ПО;
- включение измерительного оборудования в перечень допущенного к использованию в отрасли;
- выполнение поверки измерительного оборудования.

Сформулированные критерии легли в основу работ по созданию СКХ на специализированном стенде испытаний ЭГА [5]. Структурная схема стенда представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Принципиальная схема автоматизированной системы проведения измерений функциональных и виброшумовых характеристик ЭА

Во время работы исследуемой ЭГА непрерывно меняющиеся значения физических и виброакустических параметров синхронно фиксируются датчиками и поступают в СКХ, где осуществляется их запись и передача по Ethernet в задающий комплекс.

Аппаратная составляющая состоит из комплекта датчиков контроля различных параметров, преобразователей сигнала, многоканальных анализаторов сигнала типа А17-У8 и станции обработки на основе персонального компьютера.

Помимо качественной аппаратной части широкие измерительные возможности СКХ дает специализированное программное обеспечение. Оно включает в себя унифицированную оболочку анализа и регистрации данных, а также 2 SCADA-проекта, представляющих собой результат графического программирования.

1. SCADA-проект «регистрирующий комплекс синхронной регистрации» (РКСР) предназначен для:

- выбора режима эксперимента;
- отправки сигнала о запуске эксперимента;
- приема оцифрованных сигналов со всех датчиков из состава СКХ;
- измерения электрических параметров сигналов;
- обработки результатов измерений;
- вывода информации на экран;
- передачи результатов на внешнюю аппаратуру.

Настраиваемый интерфейс SCADA-проекта РКСР представлен на рисунке 3.



Рисунок 3. Интерфейс SCADA-проекта «РКСР»

Как следует из рисунка 3 в процессе испытаний выполняется синхронная запись параметров вибрации (текущие показания акселерометров) испытуемого объекта, давления, температуры, расхода рабочей жидкости и перемещения элементов оборудования. Также реализована возможность отображения в реальном времени получаемых характеристик испытуемой ЭГА (рисунок 4).

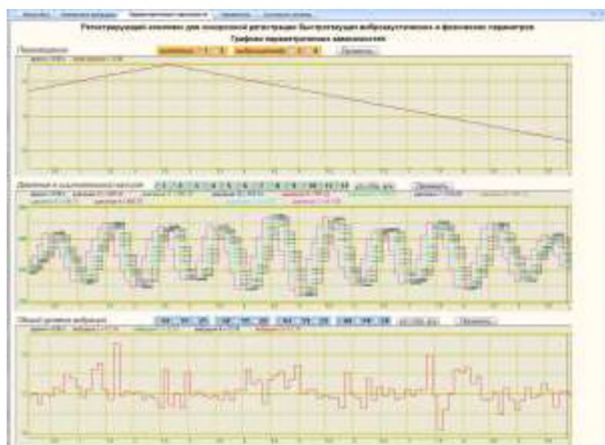


Рисунок 4. Форма синхронного отображения процесса измерений параметров

2. SCADA-проект «Вибрация» предназначен для измерения виброшумовых характеристик испытуемой ЭГА, обладающий следующими возможностями:

- проведение измерения вибрационных характеристик объекта в соответствии с действующими методиками;
- выбор параметров проведения испытаний (количество точек, амортизация, учёт типа точек измерения и жёсткости упругих элементов);
- прием оцифрованных сигналов с виброакселерометров до 24 каналов одновременно (8 точек измерения);
- сохранение результатов в формате Excel, вывод протоколов и графических приложений к ним установленного образца.
- 1/3-октавные уровни вибрации измеряются в трёх взаимно перпендикулярных направлениях в диапазоне частот от 5 до 10000 Гц;
- измерение вибрации ЭГА производится при работе изделия как на установившемся, так и на переходном режиме;
- выполняется расчёт результирующей вибрационной характеристики для каждого из трёх взаимно перпендикулярных направлений среднеквадратичных (по точкам измерения) уровней вибрации в 1/3-октавных полосах частот.

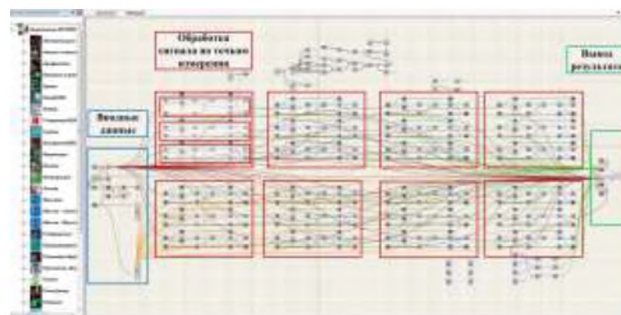


Рисунок 5. SCADA-проект «Вибрация»

На рисунке 5 приведён результат объектно-графического программирования в SCADA-среде для проекта «Вибрация». В нём заложена возможность проведения измерений по 8 трёхкоординатным точкам вибрации в 1/3-октавных полосах частот с учётом условий проведения испытаний. Интерфейс разработанного проекта приведён на рисунке 6.



Рисунок 6. Интерфейс SCADA-проекта «Вибрация»

В процессе проведения измерения система обеспечивает возможность отображения получаемых величин в реальном времени и выполнение экспресс-оценки.

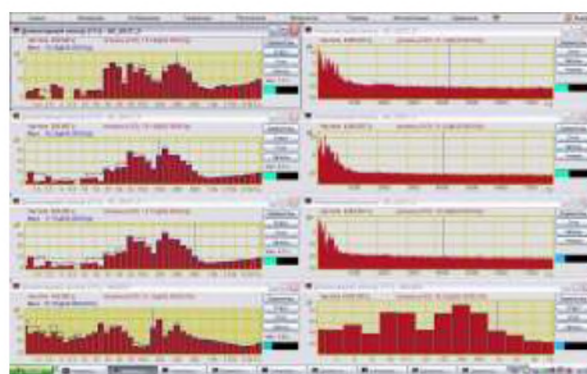


Рисунок 7. Отображение в реальном времени вибрационных характеристик

На рисунке 7 представлены данные по 1/3 октавному и узкополосному анализу вибрации в 3-х взаимно-перпендикулярных осях с функцией накопления максимума. Также отображается уровень звукового давления в 1/3 и 1/1 октавных полосах частот.

Наличие этих программных решений позволило оператору максимально полно проводить исследования функциональных и виброшумовых характеристик ЭГА как на этапе стендовой отработки макетных образцов разрабатываемых изделий, так и в ходе определения их фактических параметров работы.

В качестве результата применения разработанного автоматизированного комплекса на этапе отработки конструкции электрогидравлического устройства проводились измерения его параметров. При этом на стенде обеспечивалась имитация сопротивления управляемого органа. Эти результаты приведены на рисунке 8.

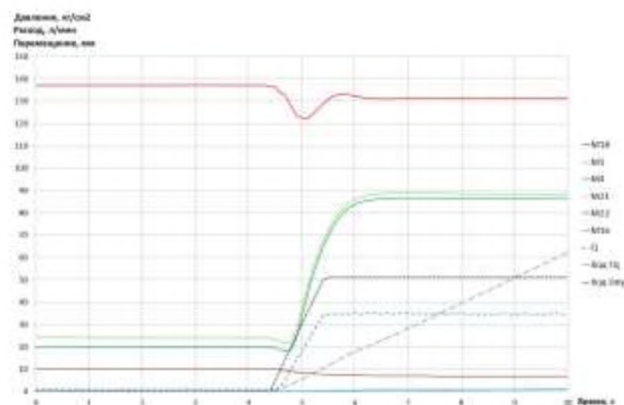


Рисунок 8. Оциллограмма для режима перемещения прибора при имитации дополнительного сопротивления

На рисунке 9 представлены величины давлений МЗ – М22, расхода Q, хода гидроцилиндра ГЦ и золотника Iзпу на протяжении динамически меняющегося процесса. При этом также выполнялись измерения вибрации с контролем максимальных значений в 1/3-октавных полосах за период всего нестационарного процесса [6]. Результаты выполненных измерений вибрационных характеристик

нестационарного процесса работы ЭГА представлены на рисунке 9.

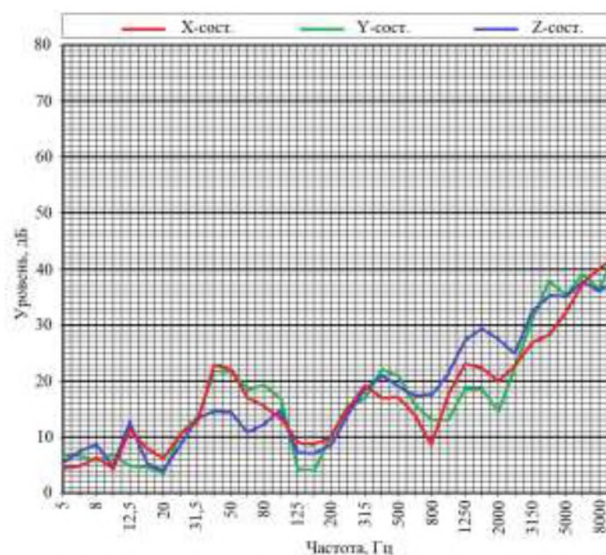


Рисунок 9. Вибрационная характеристика нестационарного режима работы прибора при имитации дополнительного сопротивления

Из приведённых рисунков видно, что результаты разработки и внедрения СКХ на специализированном гидравлическом стенде позволяют во всей необходимой полноте проводить оценку функциональных и виброшумовых характеристик как сдаточных, так и макетных образцов ЭГА.

На основе анализа результатов выполненных работ вносятся корректировки в конструкцию исследованных образцов ЭГА, настраивается их быстродействие для оптимизации, как функциональных характеристик, так и непосредственно связанных с ними параметров вибрации и шума.

### 3 Заключение

Использование системы контроля характеристик, интегрированной в состав управляющего оборудования, позволило получить следующие результаты:

- синхронное автоматизированное регистрирование различных параметров, характеризующих быстротекущие процессы (давление, расход, перемещение, температура, вибрация);

- взаимная передача данных с СКХ на специализированный задающий комплекс;
- синхронный вывод и 3D-отображения вибрационных характеристик, совместно с функциональными данными работы испытуемой ЭГА;
- измерение температуры, давления, перемещений и расхода, с применением дополнительного оборудования и датчиков.

### **Список использованных источников**

- [1] Будниченко М.А., Некрасов В.А. Методология создания заводских стендов для виброакустических испытаний серийно изготавливаемого судового оборудования // Труды крыловского государственного научного центра. 2018. Вып. 2(384). – С. 121-130
- [2] Официальный сайт производителя Брюль и Кьер, Дания /Электронный ресурс/ Режим доступа <https://www.bksv.com/ru-RU/Applications/>
- [3] Официальный сайт производителя ZETLab, Россия /Электронный ресурс/ Режим доступа <https://zetlab.com/produkcija/>
- [4] Берестовицкий Э.Г., Обуховский С.А. Проблемы создания современного специализированного стенда для виброакустических испытаний приборов и систем управления // Судостроение. 2006. № 4, – С. 42 – 45.
- [5] Ромашов Н.Н. Стенд-имитатор знакопеременных нагрузок // Системы управления и обработки информации: науч.-техн. сб. / АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб.: 2016. Вып. 35. – С. 89 – 99.
- [6] Гладилин Ю.А., Ромашов Н.Н., Франтов А.А. Исследование эффективности применения некоторых методов снижения виброактивности гидравлических приборов // СПб.: Техничко-технологические проблемы сервиса. №4 (22). 2012. – С. 10 – 13.

**BENCH COMPLEX FOR SYNCHRONOUS MONITORING OF NOISE VIBRATION AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF ELECTROHYDRAULIC EQUIPMENT**

**Erlen G. Berestovitsky,  
Yury A. Gladilin,  
Andrey A. Frantov**

Concern Avrora Scientific and Production Association JSC

15, street Karbysheva, S.-Peterburg,  
196024, Russian Federation

mail@avrorasystems.com

*When creating specialized pumping test stands for hydraulic devices to check their vibration and noise characteristics, the main problem is the choice of pump type. This, in the first place, is connected with the different principle of operation of pumping units and the influence that the working organ exerts on the flow of liquid.*

*Currently, there is a wide range of pumps, differing in design, with different functional capabilities, supplying the working medium both at the nominal mode, and allowing to regulate supply and pressure parameters in a wide range. They are divided into two main groups: dynamic and voluminous. The choice of the pump for the needs of creating a stand determines its own vibration characteristics of the entire system being created.*

*Proceeding from the made choice, it is necessary to determine the own characteristics of the created stand and, if necessary, to develop and apply a number of additional tools that allow improving the vibrational and noise characteristics of the stand being created.*

*The article presents the procedure for creating such a stand and describes the solutions that allow to combat the influence of the pump unit during the testing of hydraulics. The work was carried out using two types of pumps: axial-piston and centrifugal pumps. The following solutions were applied in the work: resonators, vibra-holding arrays, expansion tanks and flexible interchanges. The selection of the optimal combination and the correct calculation of the parameters of these means can significantly improve the intrinsic characteristics of the test stand being created and reduce own noise in the part of vibration and hydrodynamic noise.*

**Keywords:** stand; test; vibration; hydrodynamic noise; pump; resonator

## References

- [1] Budnichenko M.A., Nekrasov V.A. Development methodology of factory vibroacoustic tests for industrially produced ship equipment // Transaction of the Krylov State Research Center. 2018. Issue. 2 (384). – P. 121-130 (in Russian).
- [2] Official website of the manufacturer Brüel & Kjær, Denmark / Electronic resource / Access mode <https://www.bksv.com/ru-RU/Applications/>
- [3] Official website of the manufacturer ZETLab, Russia Federation / Electronic resource / Access mode <https://zetlab.com/produkcija/>
- [4] Berestovitsky, E.G., Obukhovskiy S.A., (2006) Problems of creating a specialized stand for vibro-acoustic testing of instruments and control systems. Sudostroyeniye [Shipbuilding], no.4, pp. 42 – 45. (in Russian).
- [5] Romashov N.N., (2016) Dynamic resistance simulator. Management system and information processing: scientific and technical collection, no. 35. pp. 89-99. (in Russian).
- [6] Gladilin, Y.A., Romashov N.N., Frantov, A.A., (2012) Study of the effectiveness of the application of certain methods to reduce the vibration activity of hydraulic devices. Technical and technological problems of service, №4 (22). 2012. – P. 10-13. (in Russian).