

УДК 53.084.2.389

**П.Г. Михайлов, Е.А. Мокров, С.В. Митрохин, Д.А. Сергеев**  
**ОСОБЕННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**  
**СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЙ**

*Разработка новых видов специальной техники требует модернизации существующих и создания новых датчиков. Одновременно возникает необходимость в испытательном оборудовании, которое способно моделировать весь комплекс воздействий, определенных в основных технических требованиях. Наиболее корректно испытание при одновременном воздействии всех основных факторов. Однако оно возможно только при применении сложного и дорогостоящего оборудования, что оправдано только при крупносерийном производстве. Для испытаний малосерийной продукции, при стендовых и эксплуатационных испытаниях отдельных датчиков более эффективны последовательные испытания. Так, например, при испытаниях пьезоэлектрических датчиков пульсаций давлений для жидкостных ракетных двигателей предлагается применять методику, основанную на воспроизведении переменного давления в квазистатическом режиме на низкой частоте при помощи гидравлического пульсатора.*

*Описанные методы калибровки датчиков быстропеременных давлений являются перспективными, так как отличаются низкими затратами на проведение, позволяют в значительной мере сократить время испытаний.*

*Испытательное оборудование; датчики пульсаций давления; калибровка датчиков.*

**P.G. Mihailov, E.A. Mokrov, S.V. Mitrohin, D.A. Sergeev**  
**FEATURES OF METROLOGICAL MAINTENANCE OF MODERN SENSORS**  
**OF PULSATIONS OF PRESSURE**

*The development of new types of special equipment required modification of existing and new sensors. At the same time there is a need to test equipment that can simulate the full range of impacts identified in the basic technical requirements. The most well-tested, while the impact of all major factors. However, it is only possible when using complex and expensive equipment, which is justified only when the large-scale production.*

*To test the limited-edition products, with bench and field trials of individual sensors are more efficient sequential test. So, for example when testing the pressure pulsations piezoelectric sensors for liquid rocket engines, it is proposed to apply the method based on reproducing the variable pressure in the quasistatic mode at low frequency by a hydraulic pulsator.*

*The described methods of calibrating pressure sensors rapidly are promising, as have low costs of carrying out, make it possible to significantly reduce the time of testing.*

*Test equipment; sensors pressure fluctuations; sensor calibration.*

Разработка и освоение нового поколения изделий и систем специальной техники (СТ) требует развития новой и модернизации существующей датчико-преобразующей аппаратуры (ДПА) [1–3]. В частности, для создания гибридных двигателей для ракет – носителей нового поколения головными разработчиками были подготовлены требования к ДПА, предназначенной для измерения силовых, тепловых параметров, параметров движения, которые предусматривают расширение диапазонов, повышения точности измерения и увеличение устойчивости к дестабилизирующим факторам. Так для датчиков, предназначенных для измерения пульсаций давлений в жидкостно-реактивных двигателях (ЖРД), основные технические требования [4]:

- ◆ диапазон измерений  $(0,005–10) \cdot 10^5$  Па;
- ◆ статическое давление до 250 МПа;
- ◆ частотный диапазон (0,5–150000) Гц;

- ◆ рабочие среды – водород, кислород, агрессивные и неагрессивные жидкости и газы, продукты сгорания;
- ◆ диапазон температур рабочих сред (15–3000) К;
- ◆ виброускорение до 12000 м/с<sup>2</sup> в частотном диапазоне (10–4000) Гц;
- ◆ погрешность измерений с виброкомпенсацией 3–10 %.

Для исполнения и подтверждения требований, поставленных в технических заданиях на разработку, необходимо испытательное оборудование, которое позволяет создать и смоделировать воздействия как измеряемых параметров, так и неинформативных факторов (помех) во всех условиях работы ДПА.

Следует отметить, что для корректного моделирования воздействия внешней среды в условиях функционирования ДПА, следует подвергать их одновременно воздействию нескольких факторов, например вибрациям и температуре, пульсациям давления и виброускорениям и проч.

К сожалению, такое комплексное воздействие требует сложной и дорогостоящей аппаратуры и испытательных стендов, имеющих значительные габариты, при этом они, как правило, все зарубежного производства. Типичными представителями комплексной испытательной аппаратуры являются установки комбинированных испытаний японской фирмы «*IMV corp.*», которые позволяют задавать одновременно несколько воздействий, например вибрацию, удары, температуру и влажность [5]. Такое мультипликативное воздействие позволяет, с одной стороны, значительно сократить время испытаний, а, с другой стороны, получить более объективную информацию по функционированию испытуемого изделия в реальных условиях. Проведение совмещенных испытаний требует значительных затрат и может быть оправдан или при значительных объемах изготавливаемой продукции, например при производстве автомобилей, или при проведении длительных испытаний дорогостоящей сложной продукции, например двигателей, турбин, летной техники и проч. На практике экономически целесообразным является аддитивный подход, когда изделие или прибор подвергается последовательным испытаниям.

При стендовых и летных испытаниях, а также при штатной эксплуатации изделий и систем СТ возникает задача измерения пульсаций давления в жидких и газообразных средах. Эти процессы имеют место, как правило, в турбонасосных агрегатах ракетных двигателей и камерах сгорания ракетных и реактивных двигателей. Чаще всего для измерения быстропеременных давлений и пульсаций давления в СТ используются пьезоэлектрические датчики (ПД) давления, в которых статическая составляющая давления «отфильтровывается» из-за принципа действия пьезоэлектрических датчиков.

Такая особенность ПД делает невозможной их градуировку, калибровку и поверку традиционным способом при помощи грузопоршневых манометров, контроллеров и калибраторов, предназначенных для калибровки и поверки датчиков статических давлений.

Для оценки метрологических характеристик ПД быстропеременного давления используется методика, основанная на воспроизведении переменного давления в квазистатическом режиме на низкой частоте (40–50 Гц), при помощи гидравлического пульсатора – рис. 1 [6]. Амплитуда воспроизводимого давления измеряется специальным кварцевым пьезодатчиком – рис. 2 или совмещенным датчиком пульсаций давления и избыточного давления типа ЛХ 417 – рис. 3 [7, 8]. Рассмотрим кратко устройство и принцип действия основных узлов калибровочного стенда: пульсатора и датчиков.

В корпусе 4 размещена на пружинах 6-ти манометрическая пара, состоящая из поршня 2 с инерционным грузом 3 и цилиндра 1. Через боковой штуцер от гидравлического пресса подается масло, заполняющее полость А и каналы Б, по которым давление  $P_{ст}$  передается на эталонный и поверяемый датчики.

Своим основанием 5 пульсатор закрепляется на столе вибростенда. При колебаниях стола поршень также совершает колебания относительно цилиндра и воздействует на жидкость в каналах Б, в результате чего на датчики воздействует одно и то же давление, состоящее из статического  $P_{ст}$  и переменного, амплитуда, частота и форма которого определяются параметрами колебаний стола вибростенда. Зная чувствительность эталонного датчика (которая записана в его формуляре), можно определить амплитуду переменного давления, возникающего в пульсаторе. Регулируя амплитуду и частоту колебаний вибростенда, изменяют соответственно и параметры пульсаций давления на фоне статического давления, тем самым, простым способом моделируя воздействия натуральных пульсаций давления, возникающих на испытательных стендах или в узлах или агрегатах СТ.

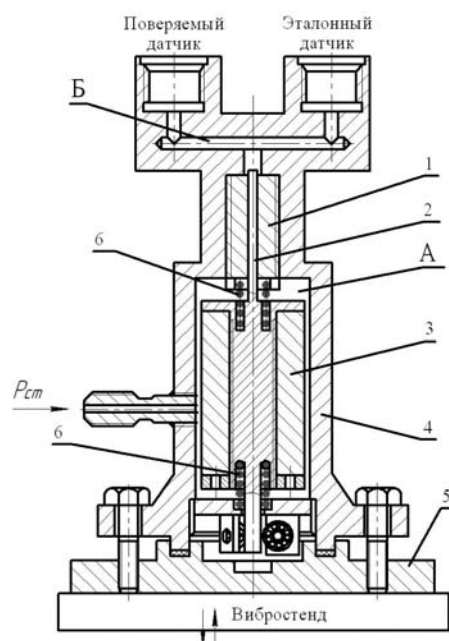


Рис. 1. Пульсатор для проверки датчиков пульсаций давления

Эталонный кварцевый датчик (рис. 2) состоит из корпуса 1, в котором установлен чувствительный элемент (ЧЭ), состоящий из параллельно соединенных кварцевых дисков 2. Там же размещен конденсатор 3, параллельно подключенный к ЧЭ. Для подключения датчика служит высокочастотный разъем 4.

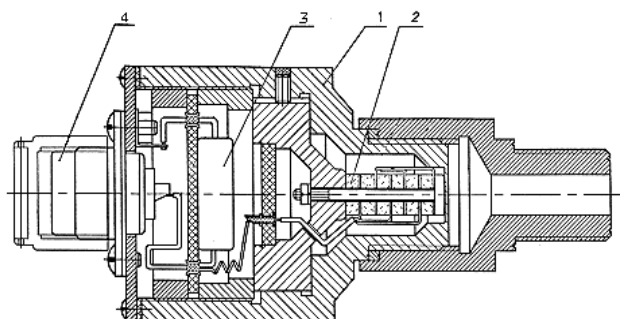


Рис. 2. Кварцевый датчик

За счет высокого внутреннего сопротивления кварца и применения встроенного конденсатора постоянная времени разряда датчика увеличена до 2-х минут, что позволило градуировать эталонный датчик в статическом режиме на грузопоршневом манометре.

В другом варианте при градуировке ПД вместо кварцевого датчика был использован совмещенный датчик, включающий тензорезистивный и пьезокерамический чувствительные элементы (рис. 3).

Датчик ЛХ 417 состоит из ЧЭ (пьезоэлемента 1 и тензоэлемента 2), корпуса с мембраной 3 и электро разъема 4. ЧЭ тензодатчика представляет собой стакан, выполненный в виде полого цилиндра, на внутренней и наружной поверхности которого наклеены константановые проволочные тензорезисторы  $R_1 - R_4$  и медные проволочные термокомпенсационные резисторы  $R_\alpha$  и  $R_\beta$ . Все тензорезисторы объединены в мостовую схему.

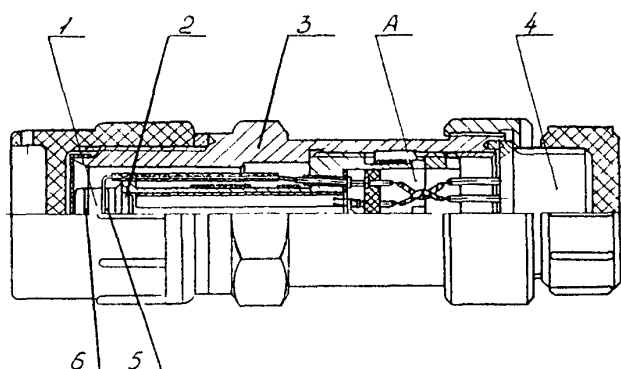


Рис. 3. Конструкция датчика давления и пульсаций давления типа ЛХ 417

В качестве пьезоэлектрического ЧЭ в ЛХ 417 использован серийный пьезокерамический элемент ЭП5Д-1. В корпусе датчика также располагаются изоляционная прокладка 5 и токосъемники 6. Выход датчика симметричный, так как оба полюса пьезоэлемента изолированы от корпуса. Погрешность в нормальных условиях (нелинейность, вариация и повторяемость) у совмещенного датчика:  $\pm 0,1\%$  и  $\pm 0,2\%$ .

Данное оборудование и методика калибровки и поверки успешно применяются при производстве всех типов пьезоэлектрических датчиков быстропеременного давления, предназначенных для использования в различных областях промышленности и обороны [9].

Что касается зарубежных фирм, работающих в данном направлении, можно отметить такие, как «Kistler» и «PCB» [10]. Эти фирмы применяют методику градуировки своих пьезоэлектрических датчиков в режиме одиночных импульсов давления или ступенчатого нагружения давлением с использованием эталонного датчика.

Достоинством такого метода является простота и небольшие габариты генераторов импульсного давления по сравнению с методом испытания в квазистатическом режиме. Однако реализация импульсного метода осложняется необходимостью применения прецизионных дорогостоящих приборов для точного измерения одиночных электрических импульсов, приходящих с датчика. Такие приборы появились сравнительно недавно. Это многоканальные цифровые запоминающие осциллографы, например, мод. TDS 220 фирмы «TEKTRONIK», США.

Примером является схема градуировки, которая применяется на фирме «Kistler», где, наряду с импульсным генератором давления, используется и гидравлический пресс (рис. 4).

Преимущества этого метода по сравнению с традиционным – гораздо большая производительность градуировки и возможность автоматизации процессов регистрации и обработки результатов градуировки.

Кроме того, появляется возможность создания портативных поверочных установок, что будет полезным для потребителей ПЭД быстропеременных давлений.



Рис. 4. Система калибровки пьезодатчиков фирмы «Kistler»

Описанные методы калибровки (поверки) ПЭД быстропеременных давлений в импульсном режиме являются перспективными, так как позволяют в значительной мере сократить время испытаний и могут быть рекомендованы к внедрению в производство.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Датчики теплофизических и механических параметров. Справочник под ред. Багдатьяна Е.Е., Гориша А.В., Малкова Я.В. В 2-х т. – М.: ИПРЖР, 1998.
2. Богдаш М.В. Пьезоэлектрическое приборостроение. Т. 3. / Пьезоэлектрические датчики для экстремальных условий эксплуатации. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2006.
3. Михайлов П.Г. Пьезодатчики быстропеременных, импульсных и акустических давлений // Радиотехника. – 1995. – № 10.
4. Лихачев В.Я. Техническая диагностика пневмогидравлических систем ЖРД. – М: Машиностроение, 1983.
5. Установки комбинированных испытаний каталог продукции фирмы *IMV CORP*, Япония.
6. Мокров Е.А., Кашкин С.Г. Концепция развития метрологического обеспечения проектирования, производства и испытаний датчиков и преобразующей аппаратуры для РКТ в ОАО "НИИФИ" // Тезисы докладов ВНТК «Измерения и испытания в ракетно-космической промышленности». – М.: Метрологическая ассоциация промышленников и предпринимателей, 2009. – С. 52-54.
7. Каталог продукции ОАО НИИФИ 2010.
8. <http://www.measurement.ru/gk/davlenie/01/127.htm>.
9. Михайлов П.Г., Михайлова В.П., Лапшин И.О. Датчики для ракетно-космической и авиационной техники // Авиакосмическое приборостроение. – 2010. – № 3. – С. 16-21.
10. Каталоги продукции фирм «Kistler» и «PCB».

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Е. Панич.

**Мокров Евгений Алексеевич** – ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт» им. М.В. Проценко»; e-mail: deputy@startatom.ru; 442960, Пензенская обл., г. Заречный, пр. Мира, 1; тел.: 88412232931; заместитель генерального директора по научной деятельности.

**Михайлов Петр Григорьевич** – e-mail: plotr110mpg@mail.ru; заместитель начальника отдела; д.т.н.; профессор.

**Митрохин Сергей Владимирович** – e-mail: msv69@startatom.ru; тел.: 88412232910; начальник научно-технического отдела.

**Сергеев Дмитрий Александрович** – Пензенский государственный университет; e-mail: Sergeeva\_PGU@mail.ru; 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40; тел.: 88412563511; аспирант.

**Mokrov Evgeny Alekseevich** – Federal State Unitary Enterprise Federal Research and Production Center Production Complex Start named after M.V. Protsenko; e-mail: deputy@startatom.ru; 1, Mira prospekt, Zarechny, Penza Region, 442960, Russia; phone: +7841232931; deputy general director of science department.

**Mihailov Petr Grigoryevich** – e-mail: p1otr110mpg@mail.ru; deputy head; dr. of eng. sc.; professor.

**Mitrohin Sergey Vladimirovich** – e-mail: msv69@startatom.ru; phone: +7841232910; head of science office.

**Sergeev Dmitry Aleksandrovich** – Penza State University; e-mail: Sergeeva\_PGU@mail.ru; 40, Red street, Penza, 440026, Russia; phone: +78412563511; postgraduate student.

УДК 621.395.8

**А.А. Панков, В.А. Дудкин**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВЕКТОРНОГО КВАНТОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ТЕХНИКИ ПО СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОМУ СИГНАЛУ**

*Основной задачей быстроразвертываемых средств обнаружения является помехоустойчивое обнаружение движущейся техники. Учитывая сложность задачи и требования высокой надежности функционирования, быстроразвертываемых средств обнаружения реализуют путем сочетания различных физических принципов построения.*

*Рассматривается метод разработки алгоритма обнаружения наземной военной техники по сейсмоакустическому сигналу, раскрываются преимущества метода по сравнению с пороговыми методами построения. На основе данного метода разрабатывается алгоритм обнаружения наземной техники, проводится оценка эффективности разработанного алгоритма и его адаптивности к изменению исходной базы сигналов. Для задачи автоматической настройки алгоритма предлагается использовать структурированную базу размеченных сигналов, а также выделение маркированных сейсмоакустических признаков из сформированной базы.*

*Акустика; сейсмика; обнаружение техники; схема принятия решения; векторное квантование.*

**A.A. Pankov, V.A. Dudkin**

### **USING VECTOR QUANTIZATION ALGORITHM FOR THE DEVELOPMENT OF DETECTION TECHNIQUE FOR SIGNAL SEISMOACOUSTIC**

*The main task of rapidly deployable means of detection is the noise-immune detection of moving vehicles. Given the complexity of the task and requirements of high reliability of operation, rapidly deployable means of detection is realized by a combination of different physical principles. This article discusses the development of the method detection algorithm for ground-based military equipment seismic acoustic signal reveals the advantages of the method compared with the threshold method of construction. On the basis of the method detection algorithm developed by ground equipment, an evaluation of the effectiveness of the algorithm and its adaptability to changes in the source database signals.*

*For the problem of automatic tuning algorithm is proposed to use a structured database of labeled signals, as well as a selection of marked seismic characteristics of the formed base.*

*Acoustics; seismicity; equipment detection; decision-making scheme; vector quantization.*