

Научно-практическая конференция
«Актуальные проблемы приборостроения,
информатики и социально-экономических наук»

2. Дубнищев Ю.Н., Ринкевичус Б.С. *Методы лазерной доплеровской анемометрии*. Москва, Наука, 1982г., с.38-39.
3. Титов А.А., Амурский В.В., Гарипов В.К. *Методы построения и расчеты лазерных измерительных и запоминающих устройств*. Машиностроение, Москва, 2008г.
4. Титов А.А. *Гетеродинный измеритель скорости и направления падения дождевых капель*. Измерительная техника №11, 2008, с.43-45.
5. Титов А.А., Коновалов И.Н. *Измерение размеров сальтирующих песчинок проекционным методом*. Измерительная техника №2, 2010, с.26-28.
6. Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И. *Теория оптических систем*. Москва, Машиностроение, 1992г., с.113-115.

**DEVELOPMENT OF A HIGHLY SENSITIVE INSTRUMENT
FOR MEASURING OF PARTICLE SIZE**

Seregin A.O.
Moscow State University of Instrument Engineering
and Computer Science

The method of measurement of size of the particles, based on using of beam of light, created by optics, and falling after the scattering by particles to high sensitive photomultiplier tube module.

Keywords: laser, fotopriemnyj module, aerosol particles.

УДК: 681.5.08

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ КАЛИБРОВКИ
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ
ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Симчук А.А., к.т.н.
Общество с ограниченной ответственностью
ООО «ГлобалТест»

В статье представлены методы калибровки, используемые при производстве датчиков динамического давления фирмы ООО «ГлобалТест». Также описаны новые методы калибровки в области низких давлений, которые позволяют расширить применяемость производимых датчиков.

Ключевые слова: пьезоэлектрический датчик динамического давления, калибровка.

Научно-практическая конференция
«Актуальные проблемы приборостроения,
информатики и социально-экономических наук»

Пьезоэлектрические датчики динамического давления (ПДДД) применяются в энергетике, автомобилестроении, авиационной и ракетно-космической технике, судостроении, двигателестроении, взрывных технологиях, физических экспериментах. Для каждого условия применения датчик должен обладать совокупностью специальных технических, эксплуатационных и метрологических характеристик.

В ПДДД производства ООО «ГлобалТест» реализовано запатентованное техническое решение [1], позволяющее расширить динамический диапазон измерений, особенно в область низких давлений и разрежения. Это позволило расширить область применения выпускаемых датчиков. В настоящее время предприятием выпускается 14 типов ПДДД, характеристики которых представлены в табл.1[2].

Таблица 1

Тип датчика	PS01	PS02	PS03	PS05	PS2001
Чувствительность, пКл/бар (*мВ/бар)	20...400	7	3	150	20*...1000*
Диапазон измерений, бар	250	2500	10000	170	250
Температурный диапазон, °C	-50...+200	-50...+200	-50...+200	-50...+330	-40...+125
Масса, г	35	12	20	150	40

Для калибровки ПДДД применяются следующие методики.

Метод квазистатической калибровки [3,4,5]

Для этой цели разработана и изготовлена калибровочная установка AP8004 (рис.1)

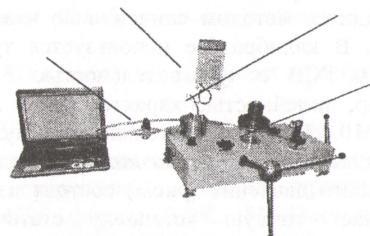


Рис.1. Калибровочная установка AP8004

Параметры установки: давление 1...250 бар; длительность импульса 1-10мс. Статическое давление в диапазоне 1...600 бар реализуется нагружением гидравлической системы (касторовое масло) через колонку (1) прецизионными

грузами. Высокая точность давления 0,05 % гарантируется прецизионной парой поршень-цилиндр, а также тем, что грузы изготовлены с учетом местного значения ускорения силы тяжести. Динамическое нагружение обеспечивается методом сброса давления масла с помощью специального клапана (2). Датчик (3) устанавливается в специальный переходник(4). Установка оснащена компьютером с автоматизированной системой регистрации и программным обеспечением.

Динамическая калибровка при высоких давлениях до 1400 бар

При этом виде калибровки используется метод взаимности, подробно освещенный в работах [6,7]. Импульсный калибратор (рис.2)состоит из размещенного на станине (1) пистона (2), на котором в свою очередь установлена направляющая труба (3).

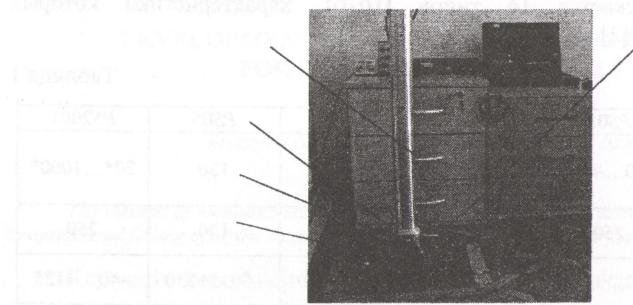


Рис.2. Импульсный калибратор 913B02 фирмы PCB

В пистон, заполненный силиконовой жидкостью, устанавливается эталонный (4) и измеряемый (5) датчики. Груз сбрасывается с различной высоты и ударяет по поршню, создавая в пистоне импульсное давление. Калибровка производится методом сличения по известной чувствительности эталонного датчика. В калибраторе используется турмалиновый эталонный датчик 136A фирмы PCB с чувствительностью 3 пКл/бар, амплитудным диапазоном 1400 бар, линейностью характеристики менее 0,5 %. Параметры установки: давление 10...1400 бар, длительность импульса 5...6 мс.

Динамическая калибровка при низких давлениях до 30 бар

Установка низкого давления (рис.3) состоит из задатчика давления (1), который обеспечивает точную установку статического давления газа, специального приспособления с одноразовой разрывной мембраной и персонального компьютера с программным обеспечением. Измерения производятся абсолютным методом. Скачок давления на мемbrane калибруемого датчика (2) обеспечивается путем разрыва мембранны из различного материала в зависимости от амплитуды давления.

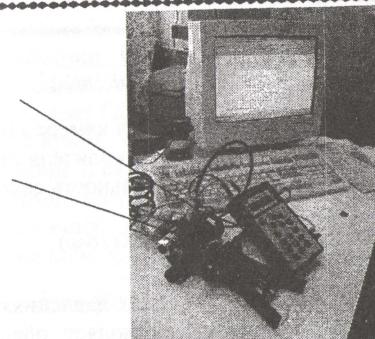


Рис.3. Установка низкого давления

Параметры установки: давление 0,001...30 бар, длительность импульса 15 мс. Формат представления результатов калибровки представлен на рис.4.

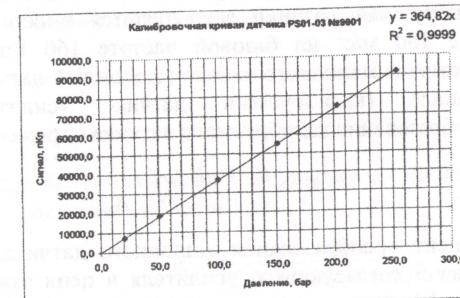


Рис.4. Калибровочная характеристика

Для датчика PS01-03 (рис.4) коэффициент преобразования составляет величину 365 пКл/бар.

Применение ПДДД для измерений низких давлений вызывает необходимость поиска новых методов калибровки наряду с известными. Калибровку в области сверхнизких давлений предложено проводить с помощью пистонфона 4220 фирмы В&К [8]. Пистонфон 4220 является эталонным источником звуковых колебаний с уровнем звукового давления 124 ± 0,2 дБ отн. 2·10⁻⁵ Па (31,4 Па) на частотах 30...320 Гц. Пистонфон предназначен для акустической калибровки микрофонов, но с применением специальных переходников был использован для калибровки ПДДД.

Чувствительность ПДДД определялась по формуле

$$S(nKl/\text{бар}) = \frac{U(\text{мВ})}{P(\text{бар}) \cdot K_{ус}(\text{мВ}/nKl)},$$

где U - напряжение на регистраторе, P - давление в камере пистонфона, равное 0,000314 бар, $K_{ус}$ - коэффициент преобразования усилителя заряда.

Для датчика PS01-03 (зав.№ 9001) чувствительность составила

$$S = \frac{121}{0,000317 \cdot 1000} = 382(nKl/\text{бар}).$$

Различие с данными калибровки при высоких давлениях составила менее 5 %. Калибровка с помощью пистонфона позволяет обеспечить нижнюю границу калибровки ПДДД 31,4 Па.

Также при определении чувствительности ПДДД в области сверхнизких давлений предложено использовать схему методики вторичной калибровки акселерометров [9], заключающейся в определении чувствительности калибруемого датчика по известной чувствительности эталонного датчика. Эталонный и калибруемый датчики закрепляются вместе на вибростендде, задается ускорение 100 м/с² на базовой частоте 160 Гц, затем снимают показания регистратора с эталонного канала (эталонный датчик-усилитель) и с калибруемого канала (калибруемый датчик-усилитель). Величину коэффициента преобразования калибруемого датчика определяют по формуле:

$$K_q = \frac{K_0 \cdot U \cdot K_{c\vartheta}}{U_0 \cdot K_{c\vartheta}},$$

где K_0 - коэффициент преобразования эталонного датчика, пКл/мс⁻²; $K_{c\vartheta}$ - коэффициент передачи согласующего усилителя в цепи эталонного датчика, мВ/пКл; $K_{c\vartheta}$ - коэффициент передачи согласующего усилителя в цепи калибруемого датчика; мВ/пКл; U - показания определяется по измеренному сигналу на выходе при измеренном значении вибрационного ускорения, известных значениях инерционных масс конструкции, действующих на пьезоэлементы, и площади пьезоэлементов.

Для пояснения данного подхода рассмотрим фрагмент ПДДД PS01(рис.5).

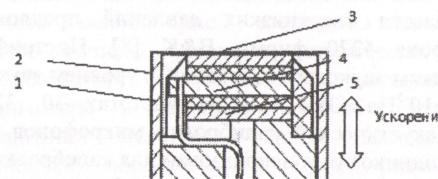


Рис.5. 1, 2- нижний и верхний кварцевые пьезоэлементы,
3- жесткий центр, 4 – токосъемник, 5 –подложка

При воздействии ускорения, направленного вверх, на кварцевый пьезоэлемент (1) действуют инерционные силы от элементов 1, 4, 2, 3. На кварцевый пьезоэлемент (2) действуют инерционные силы от элементов 2, 3. При расчетах полагаем, что самогенерация заряда в кварце происходит от половины инерционной силы самого кварца. Массы элементов 3 и 5 одинаковы, поэтому суммарный генерируемый заряд от инерционных сил не зависит от направления ускорения. Таким образом, инерционные силы при ускорении «A», действующие на кварцевые элементы 1 и 2, равны

$$F_1 = (m_3 + m_2 + 0,5m_1 + m_4) \cdot A = (m_3 + 1,5m_1 + m_4) \cdot A,$$

$$F_2 = (m_3 + 0,5m_1) \cdot A.$$

Для данной конструкции $m_1 = m_2 = 0,08 \text{ г}$, $m_4 = 0,3 \text{ г}$, $m_3 = m_5 = 0,21 \text{ г}$. Суммарная сила для расчета генерации заряда равна

$$F = 0,73 \cdot 10^3 (\text{кг}) \cdot A (\text{м}\cdot\text{с}^{-2}) [\text{Н}].$$

Соответствующее этой силе давление на пьезоэлементы равно

$$P = \frac{F}{S}, \text{ где } S = 0,5 \text{ см}^2 \text{ – площадь пьезоэлементов}$$

$$P = 14,6 \cdot A (\text{м}\cdot\text{с}^{-2}) [\text{Па}].$$

Таким образом, чувствительность датчика по давлению при воздействии вибрации можно рассчитать по формуле

$$K_p = \frac{U(\text{мВ})}{K_{ус}(\text{мВ}/nKl) \cdot P(\text{Па})},$$

где U – сигнал на регистраторе с датчика давления при ускорении A , $K_{ус}$ – коэффициент усиления.

Измерения были проведены на поверочной виброустановке AP8000 [10]. Результаты измерений коэффициента преобразования в вибрационном режиме для датчика PS01-03 (№ 9001) приведены в таблице 13.

Таблица 2

Ускорение, м·с ⁻²	Эквивалентное давление, бар	Чувствительность датчика, пКл/бар
28	0,0041	375
11	0,0016	378
4	0,00058	372
1	0,000146	378
0,7	0,0001	381

Научно-практическая конференция
«Актуальные проблемы приборостроения,
информатики и социально-экономических наук»

Осциллограммы и спектр сигналов с эталонного акселерометра и ПДДД PS01-03 (№ 9001) представлен на рис. 6.

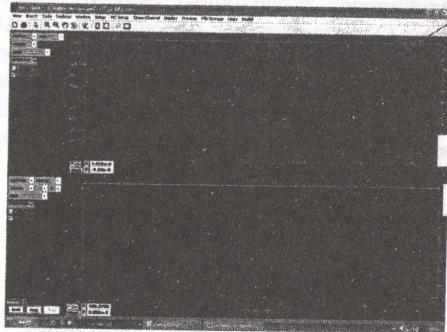


Рис.6. Осциллограммы и спектр сигналов с эталонного акселерометра и ПДДД PS01-03 (№ 9001) (1, 4 – ПДДД PS03-01,
2 – 3 – эталонный акселерометр AP10)

Наблюдается хорошее согласование результатов калибровок квазистатическим методом (рис.4.), пистонфоном и в вибрационном режиме (табл.2). Калибровка в вибрационном режиме позволяет еще более расширить динамический диапазон калибровки ПДДД в области низких давлений до 10 Па.

Литература

1. Кирпичев А.А., Симчук А.А. «Способ изготовления пьезоэлектрического датчика давления», заявка №2011129132/28(043043) от 13.07.2011
2. URL: (www.globaltest.ru).
3. Бобер Р.Дж. Гидроакустические измерения. М.:Мир, 1974, 354 с.
4. MacLean W.R, *Absolute measurement of sound without a primary standard*, J.Acoust. Soc.Am, 12, 140 (1940).
5. Cook R.K, *Absolute pressure calibration of microphones*, J.Acoust. Soc.Am, 12, 415 (1941).
6. Jim Lally, Dan Cummiskey. Technical note TN-15. *Dynamic pressure calibration/ PCB Piezotronics, Inc. USA*, 1999, 4 с.
7. Jon S. Wilson, January 2003, *Pressure Measurement: Principles and practices*, Sensors, vol.20, No.1:25.
8. Электронная аппаратура. Каталог Брюль и Къер, ДК-2850 Нэрум, Дания, 1992 г.
9. ИСО 5347-3:1993. Методы калибровки датчиков вибрации и удара - Часть 3: Вибрационная калибровка методом сличения.

Научно-практическая конференция
«Актуальные проблемы приборостроения,
информатики и социально-экономических наук»

10. АБКЖ.402152.009РЭ. Виброустановка поверочная. Руководство по эксплуатации, Саров, 2007, 17 с.

DEVELOPMENT OF CALIBRATION METHODS OF PIEZOELECTRIC SENSORS OF DYNAMIC PRESSURE

Simchuk A.A.
GlobalTest LLC, Sarov, Russia

Methods of calibration in the production of dynamic pressure sensors of LLC Globaltest firm are presented in the article. New methods for calibration in the field of low pressure which allow to expand applicability of the sensors are also described.

Keywords: piezoelectric sensor of dynamic pressure, calibration.

УДК: 620.179.14

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ РЕГИСТРАЦИИ МАГНИТНЫХ ШУМОВ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ

Филинов В.В., д.т.н., Аракелов П.Г., аспирант,
Литвинов В.В., студент
Московский государственный университет
приборостроения и информатики

Приводится измерительная система, позволяющая производить контроль и обработку регистрируемых сигналов скачков Баркгаузена для измерения плосконапряженного состояния.

Ключевые слова: магнитные шумы, скачки Баркгаузена, сигнальный процессор.

В условиях постоянно стареющего парка машин и механизмов остро встает вопрос о возможности продления сроков эксплуатации отдельных узлов и деталей, а также контроль их остаточного ресурса. Одним способом контроля остаточного ресурса является измерение напряженного состояния