

А.А. Кирпичев, А.А. Симчук, Ю.В. Тищенко **КВАРЦЕВЫЕ ДАТЧИКИ ДИНАМИЧЕСКОГО** **ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ** **ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И** **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В настоящее время ООО «ГлобалТест» предлагает следующие типы пьезоэлектрических датчиков динамического давления: с выходом по заряду PS01, PS01-01, PS02, PS02-01 (табл. 1) и со встроенным усилителем PS2001 (табл. 2) [1]. Фотографии датчиков приведены на рис. 1-4.

Для подключения к измерительной аппаратуре необходимы:

- для датчиков с выходом по заряду – усилитель заряда с входным сопротивлением не менее 10^{12} Ом (например AP5000, AQ02);
- для датчиков со встроенным усилителем – специализированные блоки питания (например AS01)

В конструкции применены оригинальные технические решения, позволившие достичь линейности характеристики не более 2 % во всем диапазоне измерений. Применение кварцевого чувствительного элемента обеспечивает высокую долговременную и температурную стабильность в рабочем диапазоне температур.

Особенности применения

Начало разработки датчиков давления было инициировано обращением заказчика ЗАО «Локомотив» (г. Ярославль) по возможности оснащения системы диагностики двигателей внутреннего сгорания датчиком динамического давления со специфическими требованиями. Специфика измерений давления в цилиндре двигателя описывалась следующими характеристиками:

- диапазон измерения давления – от 0 до 16 МПа;
- диапазон изменения температуры среды измерения – от 20 до 2000 К;
- частота циклов нагружения чувствительного элемента (давление, температура) – до 100 Гц.

В связи с этим сложность создания датчиков для индустриального ДВС была обусловлена высокими рабочими температурами пьезокристалла и высокими механическими и термическими напряжениями корпусных элементов, изменяющимися с большой частотой и амплитудой.

Таблица 1

Наименование	Размерность	PS01 (PS01-01)	PS02 (PS02-01)
Осевая чувствительность (± 20 %)	пКл/бар	20	4
Измеряемый диапазон	бар	0,1...250	1...2500
Резонансная частота	кГц	> 120	> 200
Нелинейность	-	≤ 2 % (от полной шкалы)	≤ 2 % (от полной шкалы)
Чувствительность к ускорению	бар/г	$< 0,0015$	$< 0,001$
Рабочий диапазон температур	$^{\circ}\text{C}$	$-50...+200$	$-50...+200$
Пolarity	-	Положительная	Положительная
Электрическая емкость	пФ	7...11	20
Сопротивление изоляции в нормальных условиях	Ом	$\geq 5 \cdot 10^9$	$\geq 5 \cdot 10^9$
Чувствительный элемент	-	Кварц	Кварц
Материал корпуса	-	Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь
Материал мембраны	-	Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь
Тип соединителя	-	10-32 UNF (BNC)	10-32 UNF (BNC)
Масса (без кабеля и соединителя)	г	35	12
Поставляемые принадлежности	-	Кабель АК04 (AK05) – для PS01	Кабель АК04 (AK05) – для PS02

Таблица 2

Наименование	Размерность	PS2001
Основная чувствительность ($\pm 20\%$)	мВ/бар	200
Измеряемый диапазон	бар	0,1...50
Резонансная частота	кГц	> 120
Нелинейность	-	$\leq 2\%$ (от полной шкалы)
Чувствительность к ускорению	бар/г	$< 0,0015$
Рабочий диапазон температур	$^{\circ}\text{C}$	$-40...+125$
Пolarity	-	Положительная
Выходное сопротивление	Ом	< 500
Питание:		
- напряжение	В	$+ (15...30)$
- ток	мА	2...20
Уровень постоянного напряжения на выходе	В	8...11
Материал корпуса	-	Нержавеющая сталь
Материал мембраны	-	Нержавеющая сталь
Тип соединителя	-	BNC
Масса (без кабеля и соединителя)	г	40



Рис. 1. Датчик PS01



Рис. 2. Датчик PS01-01



Рис. 3. Датчик PS02



Рис. 4. Датчик PS2001

В соответствии с техническим заданием (ТЗ) был разработан датчик PS01, который после длительных доводочных работ и многократных сравнительных испытаний полностью удовлетворяет требованиям ТЗ. Датчик PS01 по своим техническим характеристикам не уступает зарубежным аналогам фирм «AVL», «PCB», «Kistler».

На рис. 5, 6 представлены типовые индикаторные диаграммы двигателя внутреннего сгорания «КамАЗ-5320», полученные с помощью датчиков PS01 и GM12D. Данные получены с помощью

измерительной системы «АЛМАЗ», использующейся в исследовательском боксе моторных испытаний ОАО «ЯЗДА» (изготовитель – ЗАО «Локомотив»).

Измерения производились синхронно. Датчики устанавливались непосредственно в камеру сгорания дизеля с использованием специальных адаптеров. Для проведения измерений в двигателе делалось специальное отверстие в камере сгорания – индикаторный канал, снабженный индикаторным крапом, обеспечивающим от-

крытие-закрывание доступа газов к датчику давления.

Наблюдается хорошее совпадение диаграмм, полученных при помощи датчика PS01 и датчика GM12D фирмы «AVL GmbH» (Австрия) [2], специализирующейся на испытаниях двигателей. Датчики PS01 и GM12D не требуют традиционно применяющейся при высокотемпературных измерениях системы водяного охлаждения. Этот факт делает их незаменимыми при проведении диагностических работ на ДВС. Однако их использование для измерения давления в камерах сгорания при непосредственной установке или при установке на индикаторные краны высокофорсированных дизелей требует обязательного применения специальных конструктивных решений теплообменника, воздушного радиатора и гасителя пламени. Специальный адаптер для дизелей с индикаторным каналом разработан ЗАО «Локомотив» (рис. 7) [3]. Адаптер позволяет эксплуатировать датчик при полной нагрузке высокофорсированного дизеля без ограничения времени его нагружения.

В дальнейшем датчик PS01 и его модификация PS01-01 в герметичном исполнении с неразъемным кабелем нашли применение для регистрации быстротекущих импульсных процессов, в том числе под водой. Конструкция PS01-01 позволяет проводить измерения на глубине до 50 м при нахождении кабеля (за исключением выходного разъема) в воде.

По требованиям заказчика был разработан датчик PS2001 (табл. 2, рис. 4) в герметичном исполнении со встроенным усилителем, который может применяться на глубине до 50 м. Датчик обладает большей помехозащищенностью по сравнению с зарядовыми датчиками и возможностью использования длинных линий связи (до 500 м).

В настоящее время завершаются разработка и освоение производства датчика PS02 (PS02-01) (табл. 1) на высокие давления (до 2500 бар). Его предполагаемые сферы применения:

- контроль давления в топливной аппаратуре дизельных двигателей;
- регистрация высокоскоростных импульсных процессов детонационного типа.

Испытания опытных экземпляров подтвердили заявленные технические характеристики.

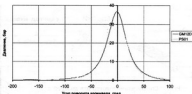


Рис. 5. Индикаторные диаграммы двигателя «Камаз-5320» без поддона топлива на частоте 600 об/мин

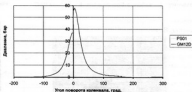


Рис. 6. Индикаторные диаграммы двигателя «Камаз-5320» с поддоном топлива на частоте 600 об/мин

Особенности калибровки датчиков динамического давления

Калибровка датчиков динамического давления типа PS производится собственной метрологической службой ООО «ГлобалТест», которая имеет в распоряжении описанное ниже оборудование.

Установка на базе грузопоршневого манометра МП-600

Основой установки (рис. 8) является грузопоршневой манометр (1) МП-600, кл. 0,05.

Статическое давление в диапазоне 1...600 бар реализуется нагружением гидравлической системы (касторовое масло) через колонку (2) прецизионными грузами (3). 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. Датчик (4) устанавливается в специальный переходник. Установка оснащена компьютером с автоматизированной системой регистрации и



Рис. 7. Специальный адаптер для дизелей с индикаторным каналом, разработанный ЗАО «Локомотив»:
1 – уплотнительный конус; 2 – накидная гайка; 3 – радиатор; 4 – кабель в бронировке; 5 – разъем BNC



Рис. 8. Установка на базе грузопоршневого манометра МП-600

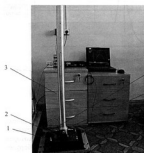


Рис. 9. Испытательный калибратор 913B02 фирмы «PCB»



Рис. 10. Установка низкого давления

программным обеспечением собственной разработки.

Параметры установки:

- давление – 1...250 бар;
- длительность импульса – 1 мс.

Импульсный калибратор 913B02 фирмы «PCB»
Калибратор (рис. 9) состоит из размещенного на станине (1) пистона (2), на котором установлена направляющая труба (3).

В пистон, заполненный силиконовой жидкостью, устанавливаются эталонный (4) и измеряемый (5) датчики. Груз сбрасывается с различной высоты и ударяет по поршню, создавая в пистоне импульсное давление. Калибровка произво-

дится методом сличения по известной чувствительности эталонного датчика. В калибраторе используется турмалиновый эталонный датчик 136А фирмы «PCB» с чувствительностью 3 мКл/бар, динамическим диапазоном 1400 бар, линейностью характеристики менее 0,5 %.

Параметры установки:

- давление – 10...1400 бар;
- длительность импульса – 5...6 мс.

Установка низкого давления

Установка низкого давления (рис. 10) состоит из датчика давления (1), который обеспечивает точную установку статического давления газа, специального приспособления (не показано) с од-

Таблица 3

Данные калибровки датчика P501 № 7003

Давление		Чувствительность		Сигнал, мВ		Нелинейность, %
атм.	бар	мВ/атм.	мВ/бар	X, измеренный	Y, аппроксимация	
25	25,3	19,6	19,3	490,0	519,3	-0,6
50	50,7	19,9	19,6	995,0	1038,6	-0,8
100	101,3	20,2	19,9	2020,0	2077,2	-1,1
150	152,0	20,5	20,2	3075,0	3115,7	-0,8
200	202,7	20,8	20,5	4160,0	4154,3	0,1
250	253,3	20,9	20,6	5225,0	5192,9	0,6

*Примечание – Нелинейность (%) = $100(X - Y) / X_{\max}$.

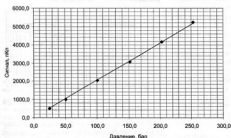


Рис. 11. Калибровочная кривая датчика P501 № 7003

норазовой разрывной мембраной и персонального компьютера с программным обеспечением. Измерения производятся абсолютным методом. Динамическое давление обеспечивается путем разрыва мембраны из различного материала в зависимости от амплитуды давления.

Параметры установки:

- давление – 0,01...30 бар;
 - длительность импульса – 3...15 мс.
- Типовые данные калибровки представлены в табл. 3 и на рис. 11.

При необходимости возможно проведение прецизионной (до долей процента) калибровки в интересующем амплитудном диапазоне. При этом указывается чувствительность датчика в ограниченном диапазоне.

В статье изложены результаты работ по разработке датчиков динамического давления, методы их калибровки. Также обозначены предпо-

лагаемые сферы и особенности применения. В дальнейшем планируются разработка и производство новых конструкций датчиков динамического давления с соответствующим расширением метрологической базы, поиск новых сфер применения по предложениям заинтересованных предприятий.

Список литературы:

1. Каталог «Измерительная аппаратура». – ООО «ГлобалТест», г. Саров, 2008.
2. Uncooled Pressure Transducers for Engine Test Instrumentation. – AVL GmbH, 1995.
3. Система для испытаний дизелей и дизель-генераторов «Алмаз». Руководство по эксплуатации. – ЗАО «Локомотив», г. Ярославль, 2005.

Александр Александрович Кармачев,
канд. техн. наук,
директор,

Александр Андреевич Симчук,
канд. техн. наук,
исполнительный директор,
ООО «ГлобалТест»,
г. Саров,

Юрий Владимирович Тищенко,
директор,
ЗАО «Локомотив»,
г. Ярославль