

При мониторинге и диагностике работы двигателей внутреннего сгорания и других механизмов, а также для контроля параметров различных динамических процессов необходимо измерение переменных и импульсных давлений. В статье представлены новые разработки кварцевых датчиков динамического давления.

МЕТОДЫ КАЛИБРОВКИ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

А.А. КИРПИЧЕВ
А.А. СИМЧУК
Ю.В. ТИЩЕНКО

к. т. н., директор ООО «ГлобалТест»
главный метролог ООО «ГлобалТест»
директор ЗАО «Локомотив»

г. Саров
г. Саров
г. Москва

В настоящее время разработаны новые типы датчиков динамического давления: с выходом по заряду PS01, PS01-01, PS02, PS02-01 (таблица 1) и со встроенным усилителем PS2001 (таблица 2). Фотографии датчиков приведены на рис.1-4.

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

Специфика измерений давления в цилиндре двигателя описывается следующими характеристиками:

- Диапазон измерения давления от 0 до 16 МПа.

- Диапазон изменения температуры среды измерения от 20 до 2 000K.

- Частота циклов нагружения чувствительного элемента (давление, температура) до 100 Гц.

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

В соответствии с техническим заданием был разработан датчик PS01, который после длительных доводочных работ и многократных сравнительных испытаний полностью удовлетворил 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 датчика PS01 и GM12D. Данные получены с помощью измерительной системы «АЛМАЗ».

Измерения производились синхронно. Датчики устанавливались непосредственно в камеру сгорания дизеля с использованием специальных адаптеров.

Наблюдается хорошее совпадение диаграмм, полученных при помощи датчика PS01 и датчика GM12D фирмы AVL GmbH (Австрия), специализирующейся на испытаниях двигателей. Датчики PS01 и GM12D не требуют традиционно применяющейся при высокотемпературных ►

Наименование	Размерность	PS01 (PS01-01)	PS02 (PS02-01)
Осевая чувствительность ($\pm 20\%$)	пКл/бар	20	4
Измеряемый диапазон	бар	0,1...250	1...2500
Резонансная частота	кГц	> 120	> 200
Нелинейность	-	$\leq 2\%$ (от полной шкалы)	$\leq 2\%$ (от полной шкалы)
Чувствительность к ускорению	бар/g	< 0,0015	< 0,001
Рабочий диапазон температур	°C	-50 ... +200	-50 ... +200
Полярность	-	положительная	положительная
Электрическая ёмкость	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 (АК05-для PS01-01)	кабель АК04 (АК05-для PS02-01)

Табл. 1 Технические характеристики датчиков динамического давления

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 мероприятий: использования теплоизолятора, воздушного радиатора и гасителя пламени.

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

По требованиям заказчика разработан датчик PS2001 (таблица 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 освоено производство датчика PS02 (PS02-01) (табл.1) на высокие давления до 2 500 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.

ОСОБЕННОСТИ КАЛИБРОВКИ ДАТЧИКОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Калибровка датчиков динамического давления типа PS производится на установке на базе грузопоршневого манометра. 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 программным обеспечением собственной разработки.

Параметры установки:

- давление 1...250 бар;
- длительность импульса 1 мс ;
- точность калибровки 2%

ИМПУЛЬСНЫЙ КАЛИБРАТОР 913B02 ФИРМЫ РСВ

Калибратор (рис.9) состоит из размещенного на станине (1) поршня (2), на котором в свою очередь установлена направляющая труба (3).

В поршень, заполненный силиконовой жидкостью, устанавливаются эталонный (4) и измеряемый (5) датчики. Груз сбрасывается с различной высоты и ударяет по поршню, создавая в поршне импульсное давление. Калибровка производится методом сличения по известной чувствительности эталонного датчика. В калибраторе используется турмалиновый эталонный датчик 136А фирмы РСВ с чувствительностью 3 пКл/бар, динамическим диапазоном 1400 бар, линейностью характеристики менее 0,5%.

Параметры установки:

- давление 10...1400 бар;
- длительность импульса 5...6 мс ;
- точность калибровки 2%

УСТАНОВКА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Установка низкого давления состоит из датчика давления, который обеспечивает точную установку статического давления газа, специального приспособления (не показано) с одноразовой разрывной мембраной и персонального компьютера с программным обеспечением. Измерения производятся абсолютным методом. Динамическое давление обеспечивается ►



Рис. 1 Датчик PS01



Рис. 2 Датчик PS01-01



Рис. 3 Датчик PS02



Рис. 4 Датчик PS2001

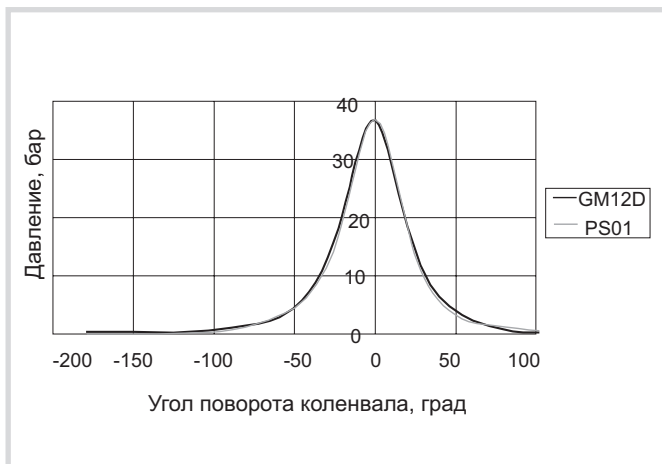


Рис.5 Индикаторные диаграммы двигателя «Камаз-5320» без подачи топлива на частоте 600 об/мин

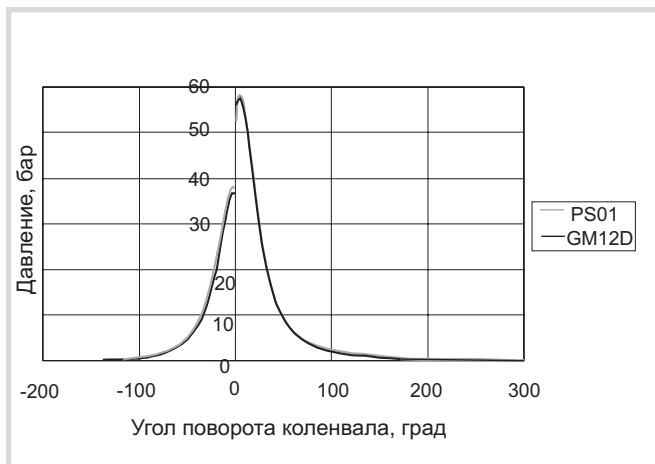


Рис.6 Индикаторные диаграммы двигателя «Камаз-5320» с подачей топлива на частоте 600 об/мин

Наименование	Размерность	PS2001
Осевая чувствительность ($\pm 20\%$)	м В/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	°C	-40 ... +125
Полярность	-	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

Табл. 2 Технические характеристики датчика динамического давления PS2001

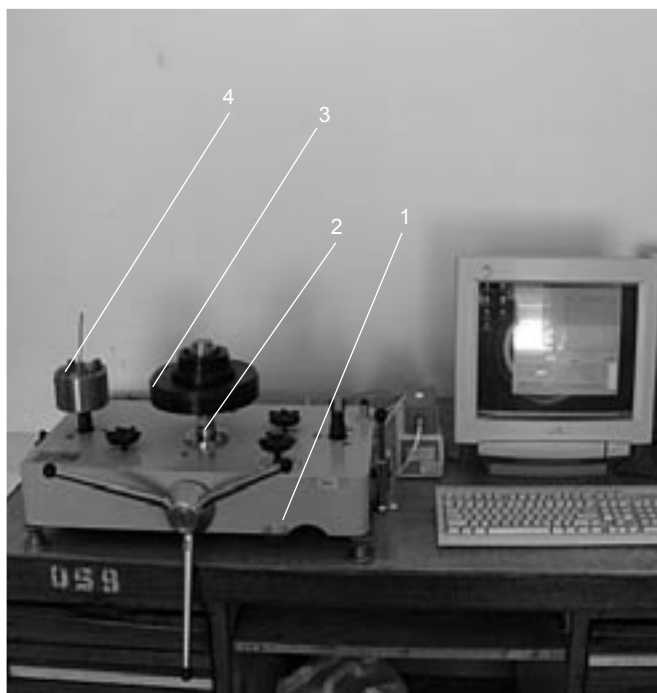


Рис. 8. Установка на базе грузопоршневого манометра МП-600

путем разрыва мембраны из различного материала в зависимости от амплитуды давления.

- давление 0,01...30 бар;
- длительность импульса 3...15 мс;
- точность калибровки 2%.

Типовые данные калибровки представлены в таблице 3.

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 предполагаемые сферы и особенности применения. В дальнейшем планируются разработка и производство новых конструкций датчиков динамического давления с соответствующим расширением метрологической базы, поиск

Давление		Чувствительность		сигнал, пКл		нелинейность,
атм	бар	пКл/атм	пКл/бар	измеренный	аппроксимация	% от полной шкалы
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

Табл. 3 Данные калибровки датчика PS01 №7003

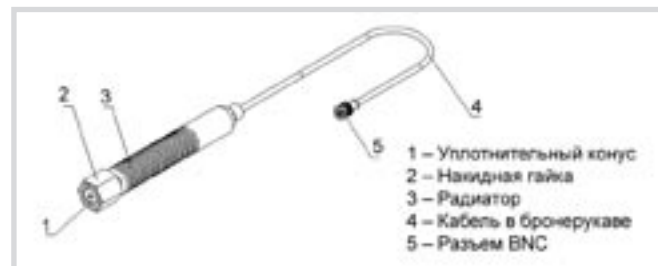


Рис. 7. Специальный адаптер для дизелей с индикаторным каналом

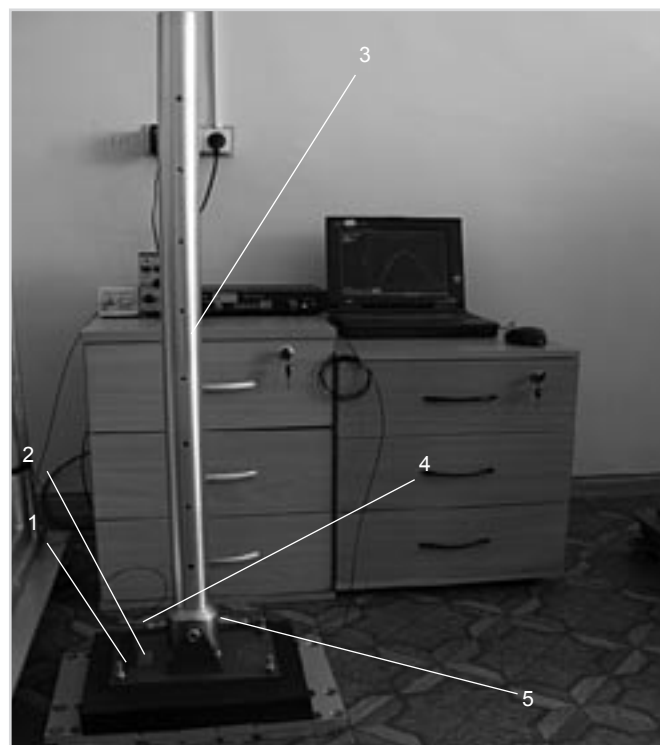


Рис. 9. Импульсный калибратор 913B02 фирмы PCB

новых сфер применения по предложениям заинтересованных предприятий. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

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