

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 2000К.
- 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/г       | < 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 (кастовое 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) пистона (2), на котором в свою очередь 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 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

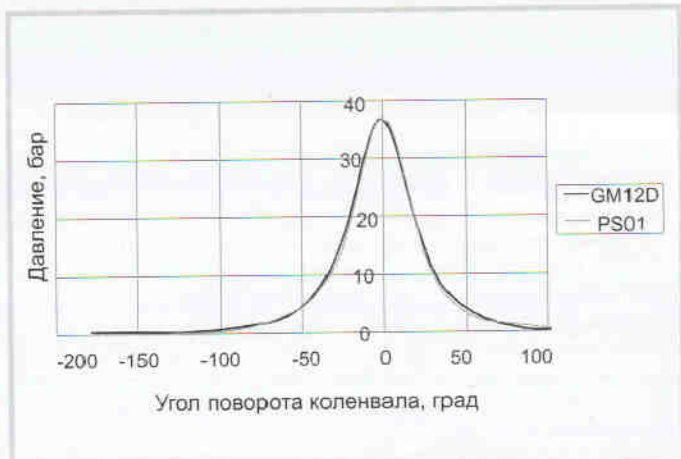


Рис. 5 Индикаторные диаграммы двигателя «Камаз-5320» без подачи топлива на частоте 600 об/мин



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/g       | < 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

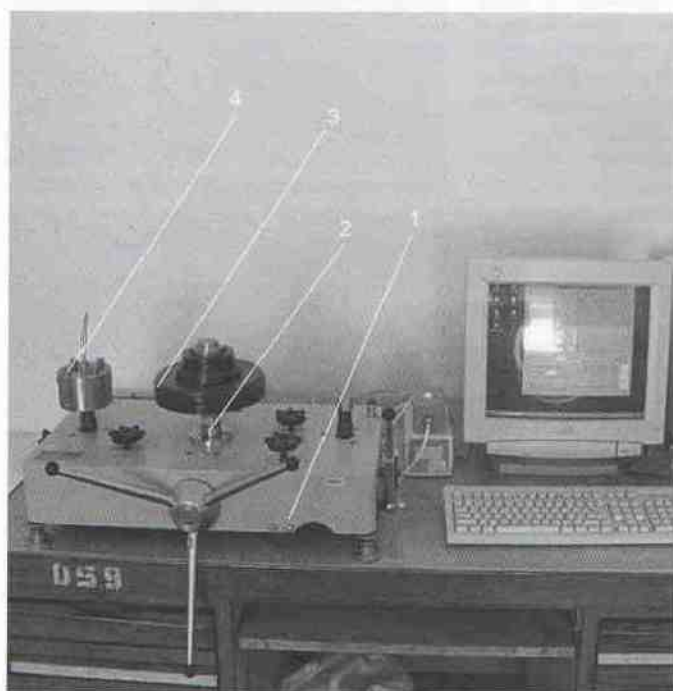


Рис. 8. Установка на базе грузопоршневого манометра МП-600

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

Параметры установки:

- 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

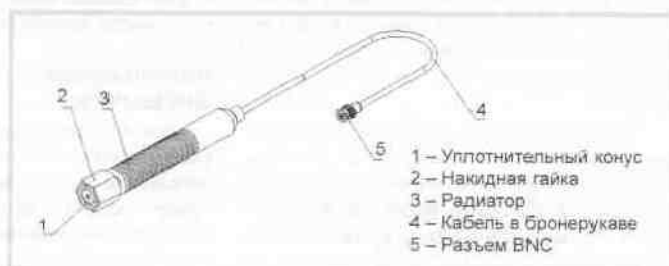


Рис. 7. Специальный адаптер для дизелей с индикаторным каналом

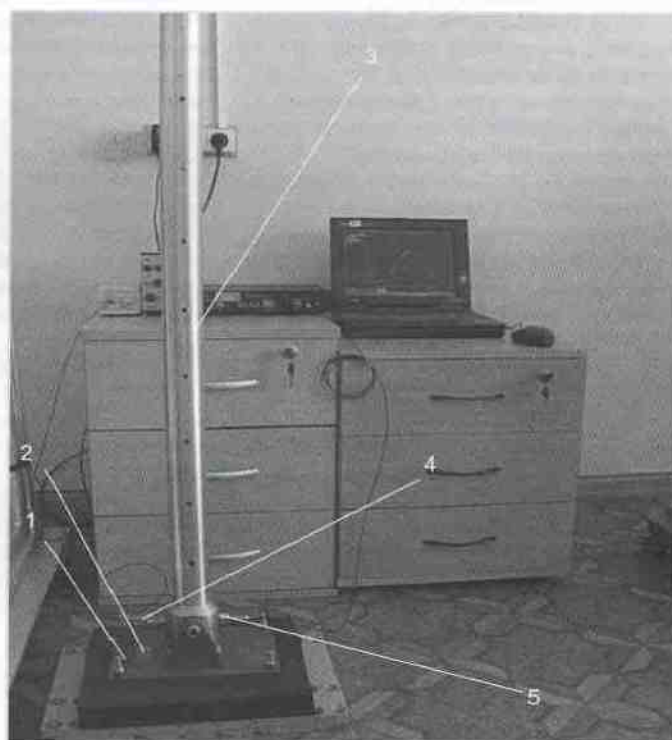


Рис. 9. Импульсный калибратор 913B02 фирмы РСВ

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.