

ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ГРУППЫ МИДА ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ЕВГЕНИЙ САВЧЕНКО, ВЛАДИМИР СТУЧЕВНИКОВ, Д. Т. Н.

Промышленная группа МИДА (МИкроэлектронные ДАтчики), возникшая в 1991 г., занимается разработкой и производством малогабаритных микроэлектронных датчиков давления, основанных на оригинальной структуре «кремний на сапфире» (КНС) [1]. Основные технические решения, относящиеся к использованию структур КНС для измерения механических величин, защищены авторскими свидетельствами СССР, патентами РФ, США, Франции и Германии. Начиная с 1993 г. датчики давления МИДА рекомендовала фирма «Газприборавтоматика» для использования на объектах объединения «Газпром». В 1990-х гг. их широко использовали, в частности, в системах транспортировки газа, где они доказали свою надежность и точность.

В ПГ МИДА постоянно проводятся исследования и разработки датчиков, включая оригинальные конструкторские, схематические и технологические решения, направленные на дальнейшее расширение возможностей измерения давления и температуры с помощью структур КНС, повышение точности, стабильности приборов, уменьшение их габаритов и массы.

В настоящее время для нефтегазовой промышленности Промышленной группой МИДА разработаны и серийно выпускаются датчики абсолютного и дифференциального давления для систем коммерческого учета расхода газа с точностью 0,05%,

преобразователи для контроля давления в скважинах с точностью 0,1% при рабочей температуре до +350 °С. Разработаны преобразователи для одновременного точного измерения давления и температуры до +350 °С в нефтяных и газовых скважинах. Также ПГ МИДА выпускает десятки видов датчиков и преобразователей избыточного и абсолютного давления, разности давлений, разрежения, избыточного давления/разрежения. Верхний предел измерений датчиков и преобразователей составляет 1 кПа — 250 МПа, основная погрешность 0,05–0,5%, а диапазон температур измеряемых сред –200...+500 °С.

Датчики выпускаются как с аналоговыми (4–20 мА, 0–5 В, 0,5–4,5 В и др.), так и с цифровыми (RS-485/Modbus) выходными сигналами как в обычном, так и во взрывозащищенном исполнении: искробезопасная цепь (Ex) или взрывонепроницаемая оболочка (Vn). Все приборы имеют необходимые сертификаты, лицензии, свидетельства, разрешения. Метрологическая служба ООО «МИДАУС» аккредитована на проведение государственной поверки (включая класс 0,05%) при выпуске датчиков из производства и ремонта. На предприятии действует система менеджмента качества ИСО 9001:2011. Приборы МИДА внесены в Государственные реестры России, Украины, Беларуси, Казахстана.

Общепромышленная линейка датчиков давления МИДА представлена сериями МИДА-13П [2] и МИДА-15 [3] (рис. 1).

МИДА-13П — общепромышленные датчики с аналоговым стандартным сигналом для измерения давления избыточного (ДИ), абсолютного (ДА), разрежения (ДВ), избыточного давления-разрежения (ДИВ) в обычном и взрывозащищенном (-Ex и -Vn) исполнениях, включая датчики с открытой мембраной (рис. 2), высокоточные датчики (-В и -К), датчики с блоком грозозащиты (-Г).

МИДА-15 — общепромышленные датчики с аналоговым и цифровым выходным сигналом моделей ДИ, ДА, ДВ, ДИВ и перепада давлений (ДД), в том числе с низким энерго-



РИС. 1. ►

Общепромышленные датчики давления серии МИДА-13П (слева) и МИДА-15 (справа)



РИС. 2. ►

Датчик МИДА-13П-Ex с открытой мембраной

потреблением и со взрывозащищенным исполнением Ex.

МИДА-ДИ-12П (рис. 3) — датчики избыточного давления высокотемпературных (до +350 °С) сред, включая датчики с открытой мембраной и с исполнением Ex. Особенностью выпускаемых датчиков является нормировка дополнительной температурной погрешности — она нормируется не в %/10 °С, а зоной температурной погрешности в рабочем диапазоне температур.

Кроме линейки общепромышленных датчиков, в ПГ МИДА разработан и выпускается ряд специализированных датчиков давления: эталонные датчики давления МИДА-15-Э, высокотемпературные датчики давления — температуры расплавов МИДА-12П-082, криогенные датчики



РИС. 3. ◀ Общепромышленные датчики давления серии МИДА-12П

давления МИДА-12П-12-КР, датчики абсолютного давления для вакуумной техники МИДА-ДА-15, погружные гидростатические уровнемеры МИДА-ДИ-15-П.

В настоящее время в промышленной группе МИДА серийно производятся сертифицированные эталонные датчики давления МИДА-15-Э (рис. 4) с основной погрешностью не хуже 0,05%, с цифровым выход-



РИС. 4. ◀ Эталонный датчик давления МИДА-15-Э

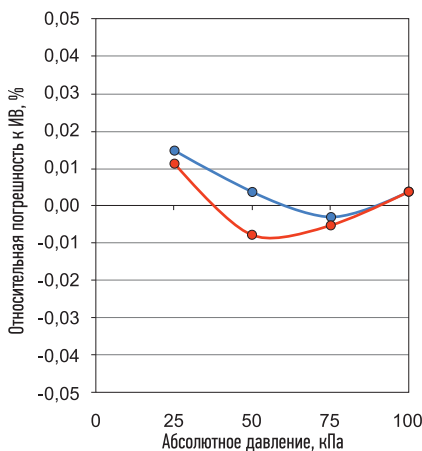
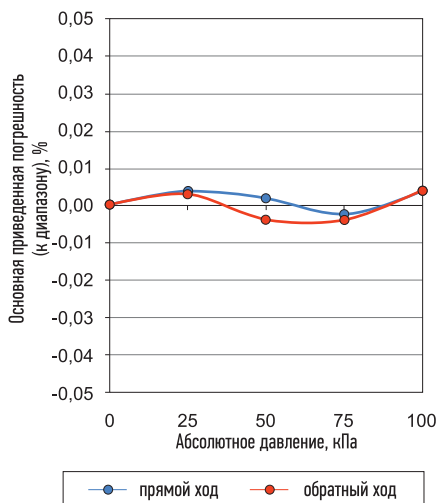


РИС. 5. ◀ Основная приведенная к диапазону измерения (слева) и относительная к измеряемой величине (справа) погрешность датчика абсолютного давления МИДА-ДА-15-3-0,05/100 кПа

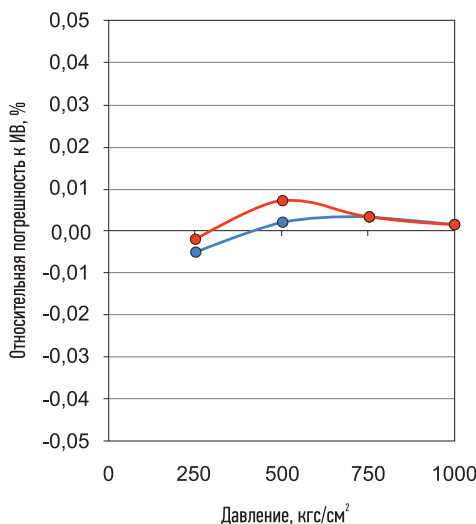
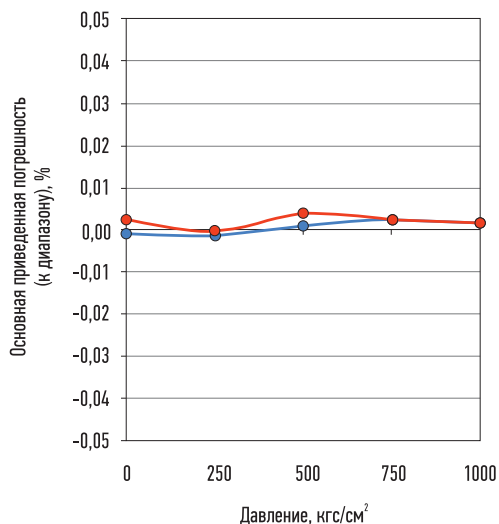
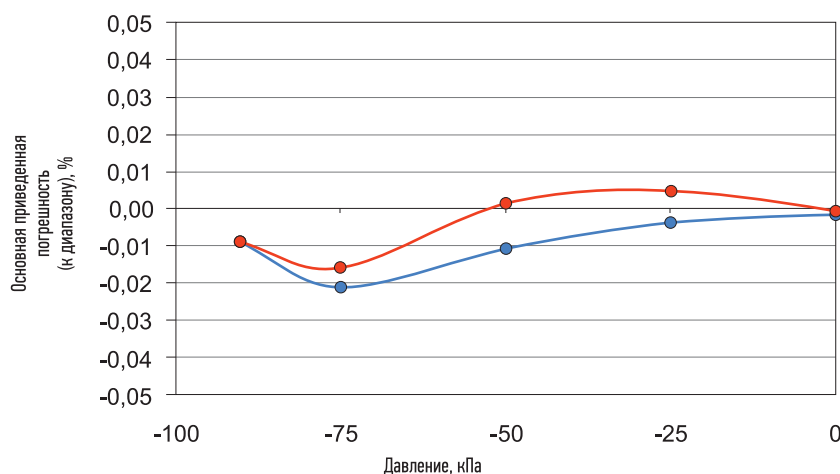


РИС. 6. ◀ Основная приведенная (слева) и относительная (справа) погрешность датчика избыточного давления МИДА-ДИ-15-3-0,05/100 МПа

ТАБЛИЦА. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭТАЛОННЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ МИДА-15-Э

Диапазон измеряемых давлений, МПа	от 0–0,04 до 0–250 (ДИ) от 0–0,04 до 0–4 (ДА) 0,1–0 (ДВ) от ±0,02 до –0,1...+2,5 (ДИВ)
Выходной сигнал	RS-485/ModbusRTU
Диапазон рабочих температур	+10...+35 °С
Основная погрешность	<0,05%
Напряжение питания, В	3–12
Степень защиты	IP65
Металл, контактирующий с измеряемой средой	титановый сплав, нержавеющая сталь
Номер в Госреестре средств измерения РФ	50730-17
Межповерочный интервал	1 год

**РИС. 7. ▲**
Основная приведенная погрешность датчика разрешения МИДА-ДВ-15-3-0,05/-100 кПа

ным сигналом. Эталонные датчики обеспечивают суммарную погрешность <0,05% в диапазоне температур +10...+35 °С.

Для изготовления датчиков класса 0,05% и лучше модули давления специальным образом отбираются, а калибровка проводится на более прецизионном оборудовании (класс погрешности — не хуже 0,015%) в отличие от серийных общепромышленных датчиков МИДА-15. Типичные результаты испытаний эталонных датчиков приведены на рис. 5–7.

Как видно на рис. 5 и 6, реальная погрешность датчиков может составлять вплоть до 0,01% относительной погрешности к измеряемой величине (ИВ). Добиться таких результатов, помимо оптимизации конструкции и технологических процессов при производстве первичных тензопреобразователей для данных датчиков, помог переход на АЦП большей разрядности (24 вместо 16 бит). Такие характеристики позволяют использовать эти датчики в качестве эталона первого разряда при калибровке и поверке датчиков давления в производственном процессе, заменяя обычно используемые грузопоршневые манометры и измерительные преобразователи ИПД. Непосредственная связь этих датчиков с автоматизированным рабочим местом испытателя уменьшает влияние человеческого фактора на задание давления и повышает точность калибровки датчиков. Опытная эксплуатация эталонных датчиков в производстве ПГ МИДА

**РИС. 8. ►**
Датчик давления МИДА для криогенных температур

показала хорошие результаты. Датчики МИДА-15-Э (табл.) также могут применяться в качестве цифровых манометров при подключении к компьютеру с операционной системой Windows или смартфону с операционной системой Android через адаптер USB. Управление работой датчика и регистрация показаний производится с помощью ПО MIDA [4]. Датчики могут быть аттестованы как эталоны 1- или 2-го разряда.

Активное развитие науки и промышленности, связанной с использованием криогенных жидкостей и газов (сжиженный природный газ, кислород, водород, азот, гелий), требует контроля процессов, происходящих при криогенных температурах. Для мониторинга состояния криогенных хладагентов требуется, прежде всего, измерение давления и температуры. Используемое измерение давления криогенных жидкостей и газов с помощью импульсных трубок, выводящих давление к датчикам, находящимся в нормальных условиях, создает определенные сложности. Кроме необходимости выведения таких трубок через теплоизолирующие устройства и создания дополнительного притока тепла к измеряемой среде, наличие подобных «теплых тупиков» в ряде случаев приводит к возникновению в них спонтанных колебаний давления [5], резко снижающих точность измерения и дополнительно увеличивающих теплоприток к измеряемой среде [6]. Поэтому наиболее точными являются «холодные датчики», устанавливаемые непосредственно на резервуаре или трубопроводе с криогенной средой. В настоящее время «холодные» датчики давления для криогенных сред в России не производятся. Все датчики давления, которые можно размещать непосредственно на трубопроводе с криогенной средой, рекламируются такими американскими компаниями, как GP:50 [7], PCB Piezotronic [8], OMEGA [9], KA Sensors [10], Kulite [11]. По всей видимости, это связано с производством и экспортом сжиженного природного газа в этой стране. Датчики указанных фирм измеряют только давление, в отдельных случаях есть приборы, в которые дополнительно устанавливается датчик температуры (как правило, это платиновый терморезистор).

В Промышленной группе «Микроэлектронные датчики» (ПГ МИДА) разработаны и выпускаются датчики давления криогенных сред МИДА-ДА-12П-12-КР на основе структур КНС (рис. 8), работающие до температуры жидкого азота (переход к более низким температурам возможен, но требует значительно более сложной аппаратуры для контроля и настройки датчиков). Такие датчики с цифровым выходным сигналом позволяют также контролировать температуру измеряемой среды, причем в этом случае термочувствительным элементом является мостовая измерительная схема преобразователя, то есть давление и температуру измеряет один чувствительный элемент. Следует отметить, что и заявленные точности датчиков американского производства [7–11] в 1,5–2 раза хуже, чем у датчика МИДА. В настоящее время датчик МИДА-12П-12-КР успешно прошел сертификационные испытания и внесен Государственный реестр средств измерений.

Датчик представляет собой составную конструкцию, в которой первичный преобразователь, устанавливаемый непосредственно на криогенном объекте, соединяется электрическим кабелем во фторопластовой трубке с электронным блоком, находящимся при температуре окружающей среды. В электронном блоке происходит коррекция температурных погрешностей датчика и преобразование выходного сигнала первичного преобразователя в унифицированный аналоговый (4–20 мА) или цифровой (RS-485/Modbus) выходной сигнал.

Типичная результирующая нагрузочная характеристика датчика при температуре жидкого азота показана на рис. 9.

Как видно, погрешность измерения давления не превышает $\pm 0,1\%$ от диапазона измерения. Диапазоны измерения таких датчиков изменяются в пределах от 0–0,6 МПа до 0–10 МПа. При использовании более совершенного оборудования диапазоны измерения могут быть расширены в сторону как меньших, так и больших давлений.

Датчики МИДА-ДА-12П-12-КР могут иметь выходной сигнал:

- аналоговый: 4–20 мА (напряжение питания 12–36 В);
- цифровой: RS-485/Modbus (напряжение питания 3,3–12 В).

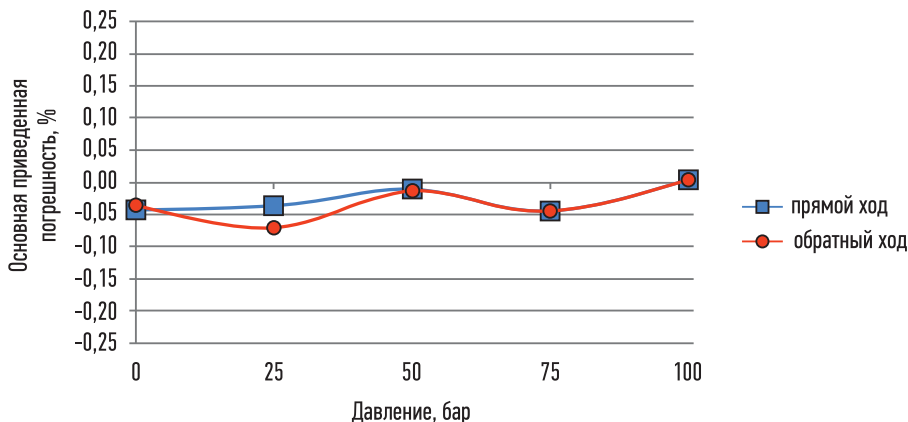


Рис. 9. ▲ Нагрузочная характеристика датчика давления МИДА-ДА-12П-12-КР при температуре жидкого азота

В случае цифрового выходного сигнала имеется возможность одновременного измерения давления и температуры. Значения измеряемых параметров могут выводиться одновременно на компьютер либо передаваться в сеть RS-485/Modbus.

Также ПГ МИДА, помимо датчиков давления, выпускает и преобразователи давления для нефтегазовой промышленности. Преобразователи давления, разрабатываемые и выпускаемые ПГ МИДА, — это конструктивно законченные изделия без активной электроники с питанием, напряжением и нормированным выходным сигналом (обычно 5 или 10 мВ на 1 В питания) с пассивной схемой коррекции температурной погрешности. Метрологические характеристики преобразователей нормируются точностью (комбинация нелинейности, вариации и повторяемости) и зоной температурной погрешности в компенсированном диапазоне температур. При рабочих температурах до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ плата со схемой температурной коррекции находится внутри корпуса преобразователя, при более высоких рабочих температурах — вне корпуса с возможностью размещения в области пониженных температур. Штуцеры и типы подключения преобразователей могут быть изменены по требованиям заказчика. По согласованию с клиентом возможна поставка преобразователей с ненормированным выходным сигналом без компенсации температурной погрешности.

Для измерительных комплексов в газовых и нефтяных скважинах разработаны и выпускаются миниатюрные преобразователи серии МИДА-

ПИ(ПА)-82/87/88 (рис. 10), имеющие точность не хуже 0,1%. В зависимости от метода закрепления имеют диаметр 16, 14 и 10 мм. Диапазоны измерения давления составляют 1–160 МПа, диапазон температур $-40...+300\text{ }^{\circ}\text{C}$. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Стучебников В. М. Структуры кремний-на-сапфире как материал для тензопреобразователей механических величин // Радиотехника и электроника. 2005. Т. 50. № 6.
2. www.midaus.com/dokumentatsiya/publikatsii/preobrazovateli-i-datchiki-pg-mida/15-obshchepromyshlennye-datchiki-davleniya-mida-13p.html
3. www.midaus.com/dokumentatsiya/publikatsii/preobrazovateli-i-datchiki-pg-mida/20-osobennosti-sifrovyykh-obshchepromyshlennykh-datchikov-davleniya-mida-15.html
4. www.midaus.com/dokumentatsiya/programmnoe-obespechenie-dlya-priborov-mida.html
5. Clement G. R., Gaffney J. Thermal oscillations in low temperature apparatus // Adv. Cryogenic. Eng. 1953. V. 1.
6. Yazaki T., Tominaga A., Narahara Y. Large heat transport due to spontaneous gas oscillations induced in a tube with steep temperature gradient // Trans. ASME. J. of Heat Transfer. 1983. V. 105. No 4.
7. GP:50 NYLTD. www.gp50.com
8. PCB Piezotronics. www.pcb.com
9. OMEGA Engineering. www.omega.co.uk
10. KA Sensors Ltd. www.kasensors.com
11. Kulite Semiconductor Products. www.kulite.com

Рис. 10. ▼ Преобразователь давления МИДА-ПИ-82

