

3.4.2. Методы преобразования давления

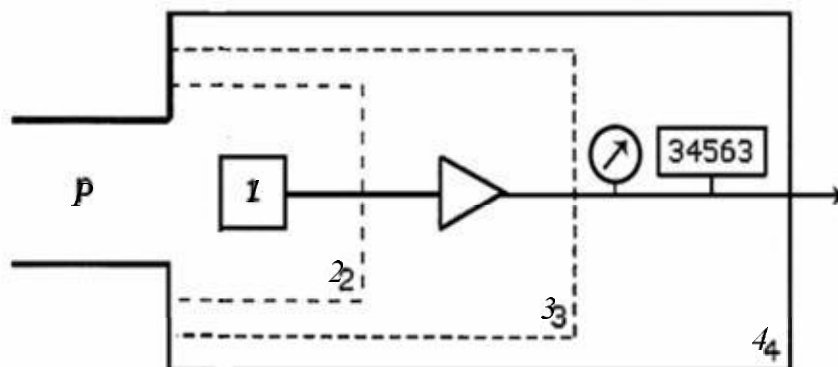


Рис. 3.85. Структура датчика давления:

- 1 – чувствительный элемент (ЧЭ);
- 2 – приемник давления;
- 3 – преобразователь давления;
- 4 – вторичный преобразователь давления

Структура датчика давления, показанного на рис. 3.85, состоит из чувствительного элемента 1, приемника давления 2, преобразователя давления 3 и вторичного преобразователя давления 4. Основным отличием одних приборов от других является точность регистрации давления, которая зависит от принципа преобразования давления в электрический сигнал: тензометрический, емкостный, пьезоэлектрический, резонансный и ионизационный.

Тензометрический метод

В настоящее время основная масса датчиков выпускается на основе ЧЭ, показанного на рис. 3.86. Их принципом действия является измерение деформации тензорезисторов, сформированных в эпитаксиальной пленке кремния на подложке из сапфира, припаянной твердым припоем к титановой мембране. Иногда вместо кремниевых тензорезисторов используют металлические: медные, никелевые, железные и др.

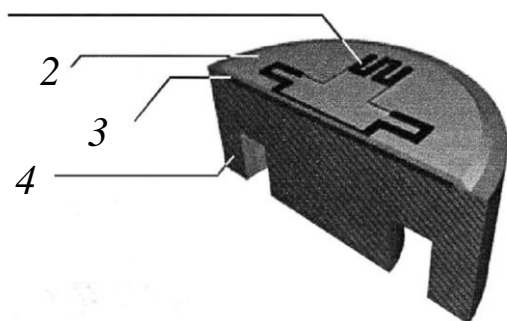
1 разователей основан на явлении теПринцип действия тензопреон-б-

зоэффекта в материалах. Чувствительным упругим элементом служит мембрана с тензорезисторами, включенными по мостовой схеме. Под действием давления измеряемой среды мембрана прогибается, тензо-
давления.

При температуре выше 200 °С полупроводниковый кремний теряет

Рис. 3.86. Чувствительный элемент:

- 1 – тензорезисторы;
- 2 – сапфировая подложка;
- 3 – серебрясодержащий припой;
- 4 – титановая мембрана



резисторы меняют свое сопротивление, что приводит к разбалансу моста. Разбаланс линейно зависит от степени деформации резисторов и, следовательно, от приложенного

тензочувствительность, превращаясь в обычный проводник, что не допускает их применение в условиях высоких температур (внутри работающих автомобильных и реактивных двигателей, буровых установок глубокого бурения и др.)

Весьма перспективна для этих целей

замена кремния на карбид кремния (карборунд). В настоящее время уже разработаны тензорезисторы из карбида кремния на подложке из окислов, нанесенной на металлическую мембрану. Полупроводниковые свойства такого тензорезистора при температуре 650 °С аналогичны свойствам обычного кремниевого тензорезистора при температуре 20 °С.

В настоящее время проводятся разработки полупроводниковых тензорезисторов, предназначенных для работы в условиях низких температур (сверхпроводящие магнитные системы термоядерных установок, криогенные накопители энергии, реактивные двигатели на сжиженном водороде и пр.) в диапазоне от 2 до 100 К (от –271 °С до –173 °С). В этих условиях чистые полупроводники превращаются в диэлектрики. Введение в кремний примесей позволяет сохранить тензочувствительность, хотя она существенно снижается. Основанный на структуре кремний на сапфире (КНС) датчик «Криос ДА» наиболее перспективен в диапазоне давлений 0,1–10 МПа. Основная погрешность 1 %, дополнительная погрешность не превышает 2 % в диапазоне температур 4–77 К и 4 % в диапазоне 77–300 К.

В связи с широким внедрением ЭВМ в системы контроля, регулирования и управления производственными и технологическими процессами, наметилась тенденция разработки совместных с ними миниатюрных микропроцессорных аналого-цифровых преобразователей,

встроенных в полупроводниковые датчики. Однако указанное не исключает дальнейшее развитие современных полупроводниковых датчиков. Следует отметить принципиальное ограничение КНС преобразователя – неустранимую временную нестабильность градуированной характеристики и существенные гистерезисные эффекты от давления и температуры. Это обусловлено неоднородностью конструкции и жесткой связью мембраны с конструктивными элементами датчика. Поэтому, выбирая преобразователь на основе КНС, необходимо обратить внимание на величину основной погрешности с учетом гистерезиса и величину дополнительной погрешности.

Практически все производители датчиков в России проявляют интерес к использованию интегральных ЧЭ на основе монокристаллического кремния. Это обусловлено тем, что кремниевые преобразователи имеют на порядок большую временную и температурную стабильности по сравнению с приборами на основе структуры КНС. Кремниевый интегральный преобразователь давления, показанный на рис. 3.87, представляет собой мембрану из монокристаллического кремния с диффузионными резисторами, включенными по мостовой схеме. Мембрана установлена на диэлектрическое основание с использованием легкоплавкого стекла или методом анодного наращивания.

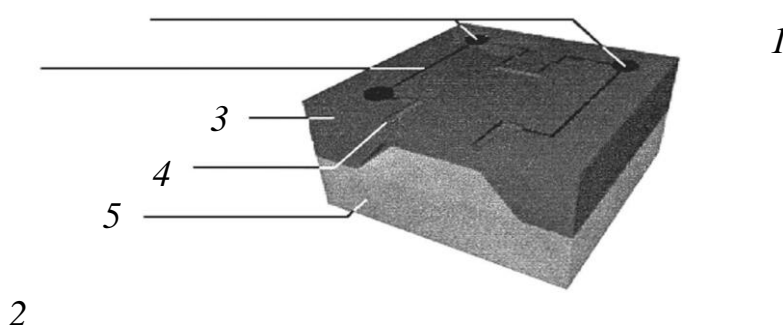


Рис. 3.87. Кремниевый интегральный преобразователь:

- 1 – контактные площадки;
- 2 – металлизация;
- 3 – монокристаллический кремний;
- 4 – диффузионные резисторы;
- 5 – стеклянное основание

Для измерения давления чистых неагрессивных сред применяются так

называемые low cost-решения, приведенные на рис. 3.88, основанные

на использовании ЧЭ либо без защиты, либо с защитой силиконовым гелем.

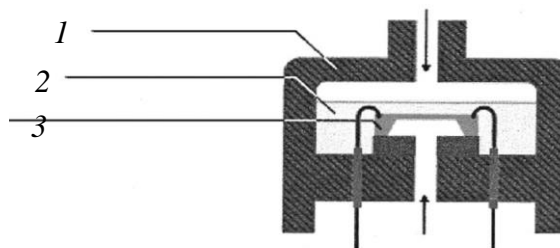


Рис. 3.88. Low cost-решения:

1 – металлический корпус;

2 – защитное покрытие;

3 – ИПД

Емкостный метод

Емкостные преобразователи используют метод измерения емкости конденсатора при изменении расстояния между обкладками. Известны керамические и кремниевые емкостные первичные преобразователи давления и преобразователи, выполненные с использованием упругой металлической мембраны. При изменении давления мембрана с электродом деформируется, и происходит изменение емкости.

В элементе емкостного датчика, показанного на рис. 3.89,а, из керамики или кремния пространство между обкладками обычно заполняется маслом или другой органической жидкостью.

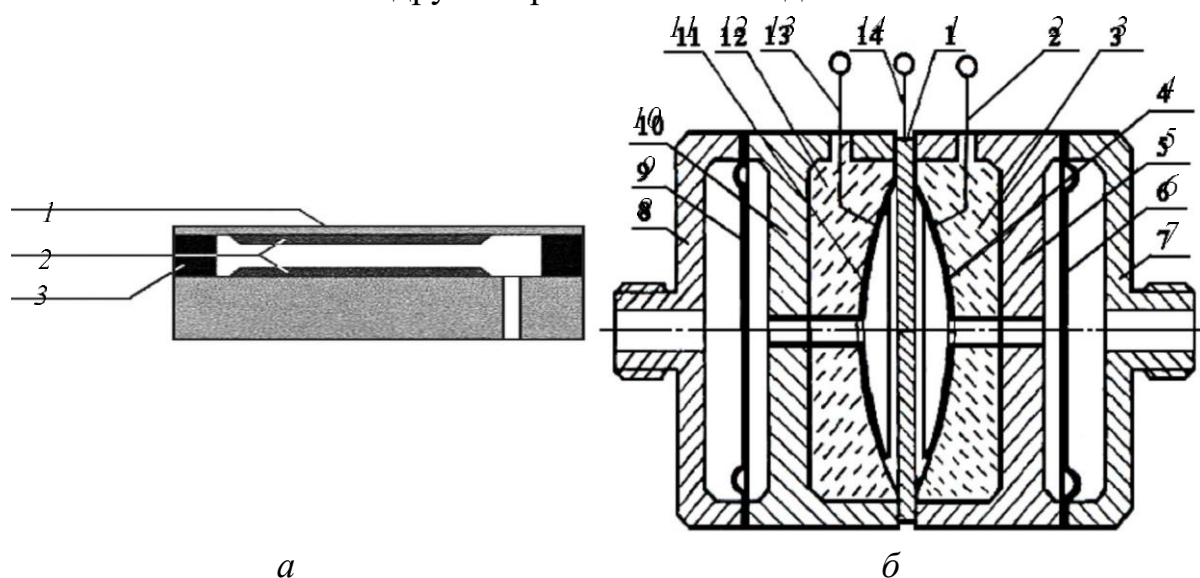


Рис. 3.89. Емкостные датчики:

а – емкостной датчик (1 – мембрана; 2 – обкладки конденсатора; 3 – прокладка); б – дифференциальный емкостный датчик

Достоинством чувствительного емкостного элемента является простота конструкции, высокая точность и временная стабильность, возможность измерять низкие абсолютные давления.

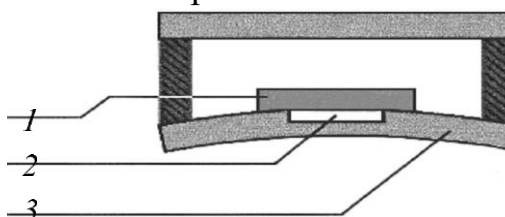
В дифференциальном емкостном датчике, показанном на рис. 3.89,б, ЧЭ отличаются высокой чувствительностью (до 500 В/мм), малой погрешностью и простотой конструкции, особенно при измерении разности давлений. Зависимость электрического сопротивления преобразователя от перемещения мембраны практически линейна. К достоинствам можно отнести возможность применения при высоких температурах (до 350 °С).

Дифференциальный емкостный датчик содержит измерительную мембрану 1, герметично закрепленную между втулками 5 и 10, в которые запрессованы керамические подложки 3 и 12. На внутренние поверхности подложек нанесены тонкопленочные электроды 4 и 11. Измерительные камеры изолированы от среды, давление которой измеряется, измерительными мембранами 6 и 9, имеющими относительно небольшую жесткость и защищенными крышками 7 и 8. Пространство между разделительными и измерительными мембранами заполнено силиконовым маслом, что обеспечивает постоянство диэлектрической проницаемости и предохраняет измерительную мембрану от перегрузок давлением. Мембрана и электроды включаются по мостовой схеме с помощью экранированных проводов 2, 13 и 14. Выходной сигнал путем демоделирования и дальнейших преобразований поступает на показывающие или регистрирующие приборы, а также в системы регулирования и управления в форме унифицированного токового сигнала 4–20 мА.

Резонансный метод

Резонансный метод используется в датчиках давления на основе вибрирующего цилиндра, в струнных датчиках, в кварцевых датчиках, в резонансных датчиках на кремнии. В основе метода лежат акустические и электромагнитные волновые процессы, что определяет высокие выходные характеристики прибора и высокую стабильность его работы.

Примером может служить кварцевый резонатор, приведенный на рис. 3.90. При прогибе мембраны происходит деформация кристалла кварца и его поляризация. В результате изменения давления частота колебаний кристалла меня-



ется. Подобрав параметры резонансного контура, изменяя емкость конденсатора или индуктивность катушки, можно добиться того, что сопротивление кварца

Рис. 3.90. Резонансный датчик:

- 1 – кварцевый резонатор;
- 2 – вакуум;
- 3 – мембрана

упадет до нуля, наступит резонанс при совпадении частоты колебаний электрического сигнала и кристалла. Преимуществом резонансных датчиков является высокая точность и стабильность характеристик, которая определяется качеством используемого материала.

3.4.3. Мембранные датчики давления с электрическим выходным сигналом

Датчики Сапфир-22

Измерительные преобразователи типа Сапфир-22 [7] предназначены для работы в системах автоматического измерения, контроля, регулирования и управления технологическими процессами и обеспечивают непрерывное преобразование значения измеряемого параметра (избыточного давления, абсолютного разрежения, разности давлений нейтральных и агрессивных сред) в унифицированный токовый выходной сигнал дистанционной передачи.

Преобразователи разности давлений могут использоваться для преобразования значений уровня жидкости, расхода жидкости или газа в унифицированный сигнал 0–5 мА, 0–20 мА, 4–20 мА.

Принцип действия преобразователей основан на использовании тензоэффекта в полупроводниковом материале. Измеряемый параметр поступает в камеру измерительного блока, где линейно преобразуется в деформацию чувствительного элемента – мембраны.

На мембране закрепляется пластина искусственного сапфира с напыленными кремниевыми тензорезисторами, соединенными по мостовой схеме. Сапфировая пластина деформируется вместе с мембраной, при этом тензорезисторы меняют свои электрические сопротивления. Электронное устройство преобразует изменение тензорезисторов в выходной сигнал.

Модификации преобразователей:

- Сапфир 22 ДА – абсолютного давления.
- Сапфир 22 ДИ – избыточного давления.
- Сапфир 22 ДВ – разрежения.
- Сапфир 22 ДД – разности давлений.

Преобразователь состоит из измерительного блока и электронного устройства. Измерительные блоки выполнены двух типов (в зависимости от пределов измерения) – мембранного и мембранно-рычажного.

На рис. 3.91 представлена конструкция мембранного (а) и рычажного (б) измерительных блоков.

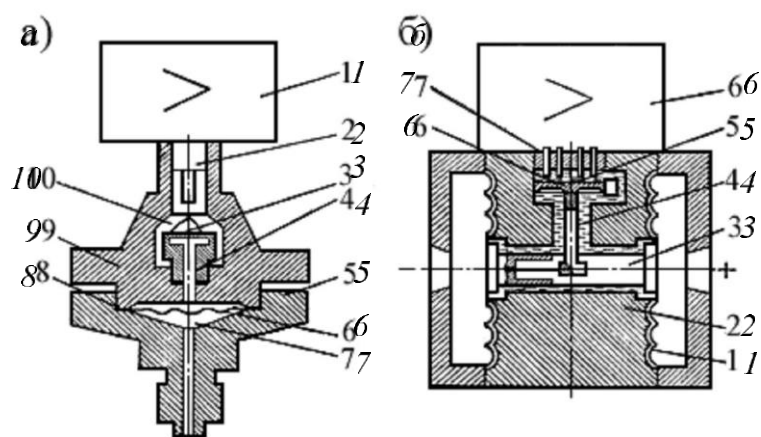


Рис. 3.91. Датчик Сапфир-22

Мембранный тензопреобразователь датчика (Сапфир 22 ДИ) (см. рис. 3.91,а) размещен внутри основания 9. Внутренняя полость 4 тензопреобразователя 3 заполнена кремнийорганической жидкостью и отделена от измеряемой среды металлической гофрированной мембраной 6, приваренной по наружному контуру к основанию 9. Полость 10 сообщена с окружающей атмосферой.

Измеряемое избыточное давление подается в камеру 7 фланца 5, который уплотнен прокладкой 8, воздействует на мембрану 6 и через жидкость – на мембрану тензопреобразователя, вызывая ее прогиб и изменение сопротивления тензорезисторов. Электрический сигнал от тензопреобразователя передается из измерительного блока в электронное устройство 1 по проводам через гермовывод 2.

В конструкции датчика Сапфир-22 ДД (см. рис. 3.91,б) тензопреобразователь 4 мембранно-рычажного типа размещен внутри основания 2, в заполненной кремнийорганической жидкостью полости. Он отделен от измеряемой среды металлическими гофрированными мембранами 1, которые по наружному контуру приварены к основанию и соединены между собой центральным штоком 3, связанным с концом рычага тензопреобразователя. Воздействие разности давлений вызывает прогиб мембраны 1, изгиб мембраны 8 тензопреобразователя, изменение сопротивления тензорезисторов 5. Электрический сигнал с тензомодуля передается из полости высокого давления во встроенное электронное устройство 6 по проводам через гермовывод 7.

В преобразователях разрежения, избыточного давления используются одни и те же измерительные блоки. Они отличаются от измерительных блоков преобразователей разности давлений тем, что у них измеряемое давление подводится лишь к «плюсовой» камере, а «минусовая» камера сообщена с окружающей атмосферой. Отличие измерительных блоков абсолютного давления состоит в том, что у них «минусовая» камера вакуумирована и герметизирована.

Предел допускаемой погрешности датчиков Сапфир-22 составляет 0,25; 0,5; 1,0 %.

Датчики давления Метран-55

Датчики Метран-55, приведенные на рис. 3.92, предназначены для работы в различных отраслях промышленности, системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами и обеспечивают непрерывное преобразование измеряемых величин избыточного давления и разрежения нейтральных и агрессивных сред в унифицированный токовый выходной сигнал.

Преимущества датчиков исполнения МП:

- погрешность измерений $\pm 0,15$ %;
- диапазон перенастройки 10:1;
- встроенный фильтр радиопомех;
- непрерывная самодиагностика;
- возможность простой и удобной настройки параметров двумя кнопками.

Диапазон измеряемых давлений: минимальный 0–0,06 МПа; максимальный 0–100 МПа.

Выходной сигнал 4–20, 0–5, 0–20 мА.

Внешний вид датчиков Метран-55 представлен на рис. 3.92.

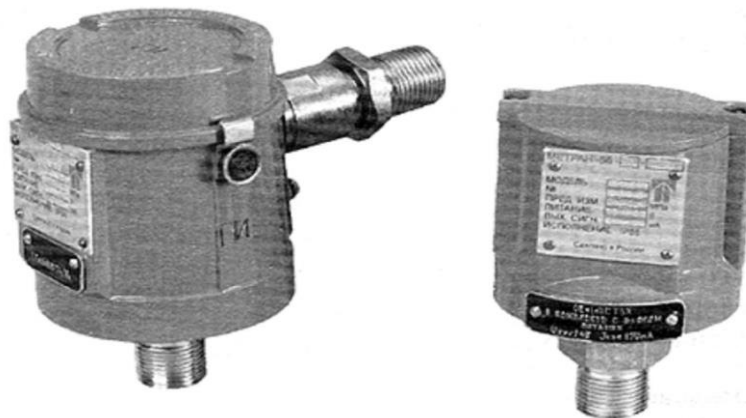
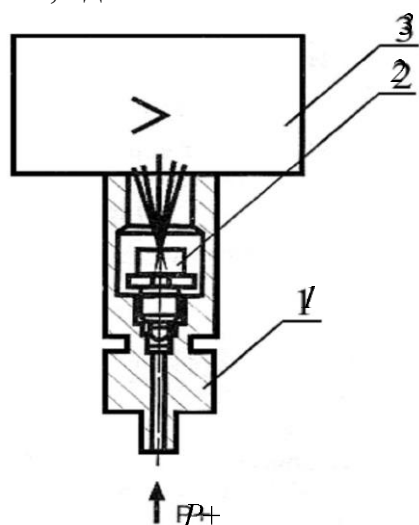


Рис. 3.92. Внешний вид датчиков Метран-55

Датчик состоит из преобразователя давления – измерительного блока и электронного преобразователя. Измеряемое давление подается в рабочую полость датчика и воздействует на измерительную мембрану тензопреобразователя, вызывая ее прогиб. Чувствительный элемент – пластина монокристаллического сапфира с кремниевыми пленочными тензорезисторами (структура КНС) – соединена с металлической мембраной тензопреобразователя. Тензорезисторы включены по мостовой схеме. Деформация измерительной мембраны приводит к пропорциональному изменению сопротивления тензорезисторов и разбалансу мостовой схемы. Электрический сигнал с выхода мостовой схемы поступает в электронный блок, где



случае неисправности, формируют сообщение в виде уменьшения выходного сигнала ниже предельного. Датчики Метран-55 имеют две встроенные кнопки, расположенные под крышкой электронного преобразователя, позволяющие устанавливать значение выходного сигнала, соответст-

Рис. 3.93. Устройство Метран-55: 1 – измерительный блок; 2 – тензопреобразователь; 3 – электронный преобразователь преобразуется в унифицированный токовый сигнал.

Датчики МП имеют два режима работы:

- режим измерения давления;
- режим установки и контроля параметров измерения.

В режиме измерения давления датчики обеспечивают постоянный контроль своей работы и, в

вующее нижнему (кнопка 1) и верхнему (кнопка 2) предельным значениям измеряемого параметра, также датчики имеют встроенный в корпус светодиод, позволяющий визуально контролировать настройку датчика. Датчики МП являются многопредельными и могут быть перестроены на любой стандартный диапазон измерений в пределах данной модели, а также обеспечивают возможность настройки на смещенный диапазон измерений. Расположение основных элементов датчика показано на рис. 3.93.

Датчики Метран-55 (кроме МП) имеют предел основной допускаемой погрешности 0,25; 0,5; 1,0.

Интеллектуальные датчики давления Метран-100

Датчики давления Метран-100, приведенные на рис. 3.94, предназначены для измерения и непрерывного преобразования в унифицированный аналоговый токовый сигнал и/или цифровой сигнал в стандарте протокола HART следующих входных величин:

- избыточного давления (Метран-100 ДИ);
- разрежения (Метран-100 ДВ);
- разности давлений (Метран-100 ДИВ);
- гидростатического давления (Метран-100 ДГ);
- кнопочное со встроенной панели;
- с помощью HART-коммуникатора или компьютера.

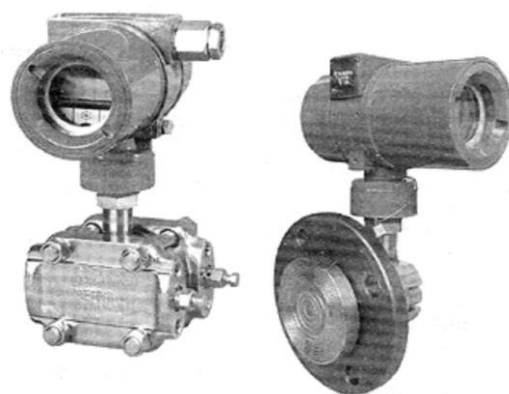


Рис. 3.94. Датчик Метран-100

Датчики имеют встроенный фильтр радиопомех, внешнюю кнопку установки нуля и непрерывную самодиагностику. Измеряемые среды: пар, газ, жидкости, пищевые продукты. Диапазон измеряемых давлений: минимальный 0–0,04 кПа, максимальный 0–100 МПа. Относительная погрешность не превышает 0,1 %.

Серия интеллектуальных датчиков Метран-100 полностью заменяет множество исполнений датчиков Метран-22,-43,-44,-45, Сапфир-22 М. Применение микропроцессорной электроники в конструкции электронных преобразователей датчиков Метран-100 позволило реализовать широкий набор функций настройки и калибровки датчиков, повысить точность настройки и снизить суммарную погрешность измерений при работе датчика в реальных условиях эксплуатации, расширить диапазон возможных перенастроек (25:1, 16:1, 10:1), обеспечить непрерывную самодиагностику.

Коммуникационный протокол HART обеспечил возможность применения датчиков Метран-100 как в аналоговых, так и в цифровых системах, поддерживающих HART-протокол (по одной паре проводов одновременно передается аналоговый сигнал 4–20 мА и цифровой сигнал на базе протокола HART), двусторонний обмен информацией между датчиком и управляющим HART-устройством: ручным портативным HARTкоммуникатором Метрон-650 или другим HART-мастером, а также компьютером, оснащенным HART-модемом и специальной программой для тестирования и управлением параметрами датчика на расстоянии.

Принцип действия датчиков основан на использовании тензорезистивного эффекта в гетероэпитаксиальной пленке кремния, выращенной на поверхности монокристаллической пластины из искусственного сапфира. Чувствительный элемент с монокристаллической структурой кремния на сапфире является основой всех сенсорных блоков датчиков семейства Метран.

При деформации чувствительного элемента под воздействием входной измеряемой величины изменяется сопротивление кремниевых тензорезисторов мостовой схемы на поверхности этого чувствительного элемента.

Электронное устройство датчика преобразует сигнал мостовой схемы в стандартный аналоговый сигнал постоянного тока и/или в цифровой сигнал в стандарте протокола HART. В памяти сенсорного блока хранятся в цифровом формате результаты калибровок сенсора во всем рабочем диапазоне давлений и температур. Эти данные используются микропроцессором для расчета коэффициентов коррекции выходного сигнала при работе датчика.

Цифровой сигнал сенсорного блока вместе с коэффициентами коррекции поступает на вход электронного преобразователя, микропроцессор которого корректирует этот сигнал по температуре и линеаризует его. На выходе электронного блока скорректированный выходной сигнал преобразуется из цифрового формата в стандартный выходной сигнал.

К другим датчикам давления можно отнести датчики давления ROSEMOUNT, интеллектуальный преобразователь давления APC-2000, датчики фирмы ADZ (Германия), преобразователь гидростатического давления и температуры ПОТК-Р-МГ и т.д.