

СТАНДАРТ ДЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ. ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ ROSEMOUNT 3051

В.Ю. Цыганов (ЗАО "ПГ "Метран")

Рассмотрены особенности конструкции датчиков давления Rosemount и новаторские технические решения, применяемые при их производстве.

Надежность работы завода зависит от надежности всех его элементов, особенно от систем контроля качества и безопасности ТП. Основные элементы этих систем — контрольно-измерительные и регулирующие приборы. Выбор качественных измерительных приборов с долговременной стабильностью — это базовый и наиболее простой путь снижения операционных затрат, повышения производительности оборудования и обеспечения постоянного качества продукта.

Оборудование компании Emerson Process Management и, в первую очередь, датчики давления Rosemount, зарекомендовали себя на мировом рынке как очень надежные и стабильные приборы. Рассмотрим особенности конструкции датчиков давления Rosemount и технические решения, сделавшие их стандартом для ответственных применений во всем мире.

Первый датчик давления с емкостной ячейкой в качестве чувствительного элемента был выпущен в 1969 г. (Rosemount 1151). Грандиозный успех данного принципа измерения подтвержден тем, что за эти годы на объектах всего мира было установлено около 6 млн. датчиков Rosemount 1151. На многих предприятиях они продолжают успешно работать и сегодня. Продолжением эволюции датчиков с емкостным чувствительным элементом стал выпущенный в 1988 г. датчик Rosemount 3051. В настоящее время, после нескольких модернизаций, Rosemount 3051 остается наиболее известным и востребованным прибором на рынке датчиков давления в мире. Что же обеспечивает такое долголетие?

В первую очередь необходимо обратить внимание на сердце прибора — емкостной чувствительный

элемент (рис. 1). Две симметричных полусферы большого радиуса выполнены в стеклянных основаниях корпуса 1, на поверхность полусфер напылены металлические пленки 2, составляющие неподвижные обкладки двух конденсаторов. Тонкая плоская металлическая мембрана 3, расположенная между полусферами, является подвижной обкладкой этих конденсаторов. Таким образом, два переменных конденсатора под действием измеряемого давления меняют емкость в противоположных направлениях пропорционально перемещению измерительной мембраны. Максимальное перемещение мембраны в такой конструкции не превышает 100 мкм, что практически исключает появление остаточной деформации в рабочей зоне перемещений при перегрузках, когда мембрана ложится на поверхность полусферы. Измерительная мембрана 3 защищена от контакта с рабочей средой двумя разделительными мембранами 4, полости между измерительной и разделительными мембранами заполнены силиконовой жидкостью 5. Эта жидкость через капилляры 6 передает давление на измерительную мембрану. Необходимо отметить, что объем заполняющей жидкости в данной конструкции почти в 30 раз меньше, чем

объем жидкости в традиционных отечественных датчиках. Еще более важно, что объемы жидкостей в "плюсовой" и "минусовой" полостях у Rosemount 3051 одинаковы, в отличие от неравных объемов отечественных и зарубежных трехмембранных конструкций датчиков других производителей. Очевидно, что разница в объемах "плюсовой" и "минусовой" камер в основном и обуславливает появление дополнительной погрешности при тепловом расши-

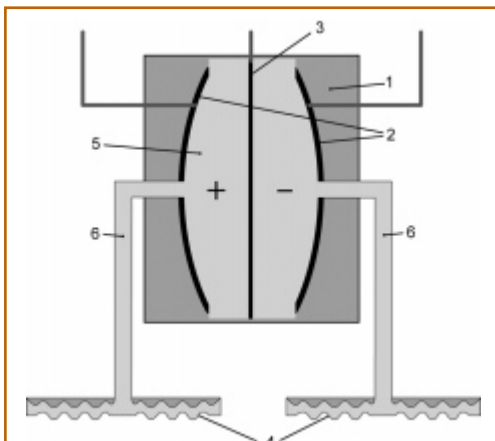


Рис. 1. Конструкция емкостного чувствительного элемента, где 1 — корпус, 2 — неподвижные обкладки, 3 — измерительная мембрана, 4 — разделительные мембраны, 5 — заполняющая жидкость, 6 — капилляры

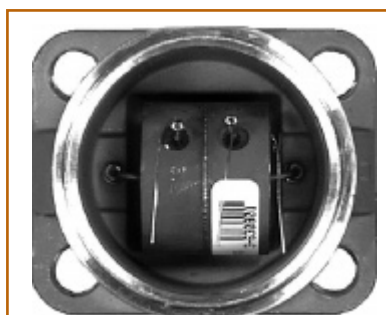


Рис. 2. Конструкция сенсорной капсулы датчика Rosemount 3051

рении/сжатию жидкостей в этих полостях, а также при воздействии рабочего статического давления.

Еще одним важнейшим решением является применение "подвешенной" конструкции сенсорной капсулы (рис. 2). Такая капсула не связана жестко с корпусом, а соединяется с ним тонкими капиллярами, благодаря чему на чувствительный элемент не влияют внешние механические нагрузки, например, от болтовой стяжки фланцев или от температурных деформаций деталей и соединений. Такое решение вкпе с малым объемом заполняющей жидкости позволяет достигать минимального влияния температуры окружающей среды и статического давления на характеристики сенсора (дополнительная температурная погрешность датчика не превышает $\pm 0,027\%$ на 10°C , дополнительная погрешность воздействия статического давления – $\pm 0,007\%$ на 1МПа).

Принципиально новым решением конструкции является гальваническая развязка емкостного чувствительного элемента от корпуса преобразователя. Это решение свело к минимуму влияние электромагнитных наводок на сенсор и обеспечило датчику Rosemount 3051 электромагнитную совместимость (ЭМС) в соответствии с самыми жесткими требованиями IEC/EN61326 и NAMUR NE-21. Сегодняшние попытки копирования другими производителями конструкции датчиков Rosemount с емкостной ячейкой предыдущих поколений не учитывают эту особенность, и появляющиеся клоны вызывают большие вопросы, в том числе с точки зрения ЭМС.

Для демонстрации превосходства конструкции сенсора с емкостным чувствительным элементом рассмотрим конструкцию других датчиков давления. На рис. 3 приведена классическая конструкция датчика, используемая почти всеми отечественными производителями до настоящего времени. Здесь среда воздействует на гофрированную измерительную мембрану 1, перемещение мембраны через жесткий шток 2 передается механически на тензопреобразователь КНС структуры (кремний-на-сапфире), вызывая разбаланс моста Уинстона. При перегрузке гофрированная мембрана ложится на точеный профилированный упор. Такая конструкция, разработанная в семидесятих годах прошлого столетия, безусловно была современной для того времени, однако в ней скрываются знакомые любому специалисту КИПиА недостатки. Для понимания их природы сделаем небольшой экскурс в конструктивные и технологические особенности датчиков давления.

Гофрированная измерительная мембрана из сплава 36НХТЮ по сути является первичным преобразователем давления в перемещение, она рассчитывается по строго определенным формулам и правилам. Мембрана помещается в паз в корпусе с определенными допусками и приваривается электроконтактной сваркой по окружности. Так как при изготовлении неизбежно имеется разброс значений диаметров мембран, то при сварке возможна несоосность гофров мембраны и точеного профилированного упора. Именно поэтому мембраны после приварки подвергаются многократному воздействию давления для уменьшения влияния несоосности. В противном случае будет наблюдаться значительный уход "нуля" и даже изменение линейности выходного сигнала после воздействия предельных статических давлений. Плюс к этому электроконтактная сварка (в отличие от лазерной сварки для тонких мембран в Rosemount 3051) образует далеко не идеальную окружность с отклонениями по радиусу. Это приводит к разнице эффективных площадей мембран "плюсовой" и "минусовой" сторон, что обуславливает дополнительную погрешность измерения перепада давлений.

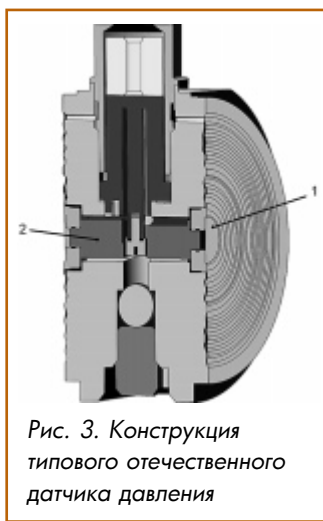


Рис. 3. Конструкция типowego отечественного датчика давления



Рис. 4. Копланарная конструкция датчика Rosemount 3051 С

С другой стороны, измерительные мембраны контактируют с рабочей средой и могут подвергаться разрушению агрессивными средами или отложению примесей и налипанию. Здесь появляется другая проблема точного измерения перепада давлений. Так как толщина мембраны напрямую влияет на преобразование давления в перемещение (кубическая зависимость), то изменение ее толщины в процессе эксплуатации датчика приводит к значительной дополнительной погрешности. Именно для защиты от агрессивных сред применяется трехмембранная конструкция с двумя тонкими разделительными мембранами из различных коррозионноустойчивых сплавов, на метрологические параметры таких датчиков не влияют утонение мембран или отложение примесей.

Еще одним конструктивным недостатком, о котором уже упоминалось, является значительный объем запол-

няющей жидкости и наличие цепочки механической связи между сенсором (тензопреобразователем) и измерительными мембранами. На практике это проявляется в больших погрешностях при изменении температуры вследствие различных значений тепловых расширений/сжатий элементов и существенном температурном гистерезисе.

Таким образом, после сравнения конструкции становится понятным, почему приборы измерения давления Rosemount с емкостным чувствительным элемен-

том получили наибольшее распространение в мире по сравнению с другими принципами измерения.

Еще одним преимуществом серии Rosemount 3051 стало использование копланарной конструкции датчика (модель Rosemount 3051C) (рис. 4). В сравнении с двухфланцевой бипланарной конструкцией уменьшились размеры и масса датчика. Стало существенно проще и надежней осуществлять монтаж вентильного блока и датчика по одной плоскости, кроме этого, при необходимости можно легко очистить мембраны; снятие же фланцев у традиционных микропроцессорных датчиков не рекомендуется.

Копланарная конструкция также широко используется для измерения расхода методом переменного перепада давлений. Появилась возможность интегральной сборки датчика с сужающими устройствами без дополнительных импульсных линий (рис. 5), что повысило надежность всей системы и исключило необходимость обустройства дополнительного обогрева импульсных линий. Самое же современное и элегантное с технической точки зрения решение – объединение датчика перепада давлений Rosemount 3051 и осредняющей напорной трубки Annubar (Rosemount 3051SFA, Метран-350 SFA). На сегодняшний день это удачное техническое решение для измерения пара, газа и невязких сред для труб среднего и большого диаметра насчитывает установленную базу более 50 тыс. приборов во всем мире. Например, такое решение позволяет измерять пар и газ с температурой до 400 °С без импульсных линий, а также дает минимальные потери давления в трубопроводе. По большому счету, это единственный серийно выпускаемый прибор контактного измерения расхода, который можно монтировать/демонтировать для периодического техобслуживания и поверки без остановки процесса.

Заканчивая описание конструктивных особенностей, упомянем, что в модельном ряду есть и "штуцерный" вариант Rosemount 3051T для измерения избыточного и абсолютного давлений на основе КНК-сенсора (кремний-на-кремнии) (рис. 6).

Неоспоренным и значительным вкладом Rosemount в общемировое развитие средств автоматизации в 1988 г. стала разработка цифрового протокола HART и передача его спецификаций в открытый фонд. В 2007 г. протокол HART, усовершенствованный компанией Emerson Process Management, стал стандартом для нового интер-



Рис. 5. Расходомер перепада давления Метран-350



Рис. 6. Датчик Rosemount 3051T

фейса беспроводной передачи данных (Wireless) между полевыми приборами.

В 1992 г. после длительных испытаний и подтверждения характеристик многочисленных установленных приборов на реальных объектах Rosemount первым из производителей заявил гарантированную длительную стабильность метрологических характеристик датчика в реальных условиях эксплуатации в течение 5 лет без промежуточных калибровок. Вслед за Rosemount в последние годы крупные зарубежные производители также начали заявлять характеристики длительной стабильности. Однако нужно обратить внимание, что многие из них до сих пор определяют стабильность в соответствии со стандартом IEC770, который рассчитывает стабильность только для "нуля" при постоянном во времени входном давлении и в стандартных климатических условиях (20°С), что конечно же отличается от реальных условий работы приборов.

С развитием микроэлектроники и современных технологий датчик Rosemount 3051 подвергался различным модернизациям, впрочем, не менявшим принципиально конструкцию и сенсор, – настолько удачными были первоначальные технические решения. Повышалась механическая прочность датчика, защита от внешних климатических воздействий, улучшались метрологические характеристики. Так, на сегодняшний день Rosemount 3051C/T поставляется с основной приведенной погрешностью $\pm 0,065\%$ в стандартном исполнении и $\pm 0,04\%$ опционально, а модель Rosemount 3051S Ultra с $\pm 0,025\%$. Улучшалась электроника датчика и его ПО, добавлялись различные функциональные возможности, такие как выбор инженерных единиц, расширенная диагностика прибора и т.д. Безусловно, обо всех особеннос-

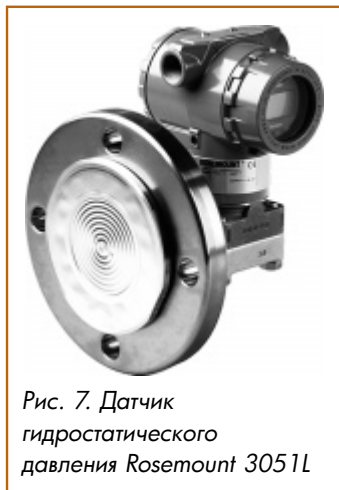


Рис. 7. Датчик гидростатического давления Rosemount 3051L



Рис. 8. Датчик давления с открытыми мембранами удаленного монтажа

Таблица

Материал, контактирующий с рабочей средой	Характеристики
Нержавеющая сталь 316 (16-18%Cr, 10...14% Ni)	Высокая сопротивляемость коррозии в атмосфере, азотной кислоте, органическим кислотам и другим органическим соединениям, щелочным растворам, солевым растворам (кроме солей фтора, хлора, брома и йода). Не устойчива к концентрированной серной и соляной кислотам.
Нержавеющая сталь 316 с золотым покрытием	Высокая устойчивость к водородосодержащим средам
Monel (67% Ni, 33% Cu)	Высокая сопротивляемость к фторной, серной и фосфорной кислотам и солям. Возможно проникновение водорода при высокой концентрации.
Monel с золотым покрытием	Высокая устойчивость к проникновению атомарного водорода, коррозионной стойка к фтористоводородной кислоте
Hastelloy C (54% Ni, 16% Cr, 16% Mo)	Высокая сопротивляемость к концентрированной соляной и серной кислотам при умеренных температурах и солям (хлорное железо, хлорная медь), щелочам и органическим кислотам, морской воде. Допускает проникновение водорода.
Тантал	Очень высокая устойчивость к кислотам (кроме плавиковой), восприимчив к высокотемпературным средам, содержащим кислород и азот, к водородосодержащим средам при умеренной температуре.
Так как устойчивость материалов может существенно меняться в зависимости от примесей, температуры, давления и т.д., указанные в таблице данные по устойчивости к коррозии должны уточняться, а материалы должны подбираться техническим специалистом для каждого конкретного применения.	

тях электроники, ПО и интерфейсах следует написать отдельную статью, что мы и постараемся сделать в дальнейшем.

Другим направлением развития Rosemount 3051 стала адаптация датчика для измерения всевозможных агрессивных сред с различными типами присоединений. Кроме стандартной штуцерной и копланарной конструкции существует гидростатическое исполнение Rosemount 3051L с открытой мембраной как непосредственного монтажа (рис. 7), так и удаленного монтажа (рис. 8). Предлагается 26 различных типов присоединений и шесть видов материалов (таблица).

В 2008 г. ожидается следующая модернизация хорошо известного прибора, это будет пятая версия Rosemount 3051. Как обычно, обозначение датчика не изменится, что чрезвычайно важно для приборов, заложенных в спецификации будущих проектов. Также не меняются присоединительные размеры и монтажные части. Внешние изменения показаны на рис. 9, высота увеличивается на 6,35 мм, информация о приборе полностью приводится на одной маркировочной табличке, кнопки установки "Нуля" и "Диапазона" переносятся внутрь корпуса, под крышку индикатора, для потребителей же появляются новые возможности.

Во-первых, статическое давление для датчиков перепада давлений увеличивается до 42 МПа, и это от-



Рис. 9. Датчик Rosemount 3051C версии 5

крывает Rosemount 3051C широкую дорогу в энергетику (измерение расхода перегретого пара, уровня в барабане котла и др.). Во-вторых, датчик Rosemount 3051 может поставляться с сертификатом безопасности по IEC 61508, специальной табличкой и использоваться в системах противоаварийной защиты. В-третьих, датчик получил много новых функциональных возможностей: выбор произвольной пользовательской переменной, установка отсечки измерения малых расходов, выбор значений насыщения токового сигнала, выбор уровня формирования сигнала аварии (Alarm).

Плюс ко всему, улучшенный язык описания устройств EDDL в датчике Rosemount 3051 позволит пользователям получать по HART дополнительную графическую визуализацию, в том числе с помощью HART коммуникатора, и работать с дружественным интерфейсом в любой системе управления активами.

Все заводы, производящие Rosemount 3051 в США, Германии, России и КНР, в течение ближайших нескольких лет перейдут на новую пятую версию Rosemount 3051, и этот модернизированный датчик будет поставляться заказчикам по умолчанию. Чтобы развеять сомнения тех, кто российскому предпочитает "Made in ...", остановимся на сборочной линии в России. Это производство создано в г. Челябинске на базе Промышленной Группы "Метран" для обеспечения потребности нашей страны и стран СНГ в датчиках Rosemount 3051.

Оно соответствует всем высочайшим требованиям Emerson Process Management к качеству продукции, все без исключения комплектующие поставляются с головного завода в США (Миннеаполис), при этом технологическое оборудование является самым современным из всех сборочных производств Rosemount 3051 в мире. Для производства в России был выбран именно датчик давления Rosemount 3051, так как он обладает идеальным соотношением цена/функциональность.

Важнейшее преимущество российской сборочной линии — сокращенные сроки поставки, датчики могут быть изготовлены в течение 2...3 недель, а при необходимости и быстрее; приемка заказчиком изготов-

ленных приборов может быть организована непосредственно на заводе. Датчики из г. Челябинска получили паспорт прибора, первичную российскую поверку и полноценное сервисное обслуживание. Специалисты технической поддержки квалифицированно подбирают приборы для конкретных применений и дают рекомендации по его монтажу и эксплуатации.

Новые преимущества в сочетании с заслуженной годами репутацией и качеством датчиков Rosemount делают их незаменимыми при решении любых задач измерения и управления ТП во всех отраслях промышленности.

Цыганов Виталий Юрьевич — менеджер по датчикам давления ЗАО "ПГ "Метран".

Контактные телефоны Центра Поддержки Заказчиков: (351) 247-16-02, 247-15-55. [Http://www.metran.ru](http://www.metran.ru)