

# СТАНДАРТ ДЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ. ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ ROSEMOUNT 3051

**THE STANDARD FOR CRUCIAL APPLICATIONS. ROSEMOUNT 3051 PRESSURE SENSORS**

Цыганов В.Ю. (V. Tsyganov), ЗАО «ПГ «Метран»



**EMERSON**  
Process Management

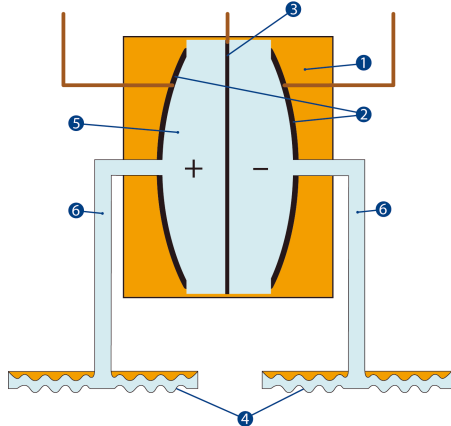
«...На месторождениях компании «ТОО Казахойл Актобе» эксплуатируется следующее оборудование, производимое Emerson Process Management:

- PCY DeltaV (месторождение Алибекмола — 150 сигналов, месторождение Кожасай — 500 сигналов)

- Датчики давления 3051 и 3051S, датчики температур, уровнемеры, расходомеры....

...Оборудование, производимое Emerson Process Management и находящееся в эксплуатации, зарекомендовало себя как современное, надежное и точное оборудование, отличающееся долговременностью характеристик и простотой обслуживания и эксплуатации».

Приведенная выдержка из отзыва — один из многих примеров, подтверждающих сложившееся представление



**Рис. 1. Конструкция емкостного чувствительного элемента (1 — корпус; 2 — неподвижные обкладки; 3 — измерительная мембрана; 4 — разделительные мембраны; 5 — заполняющая жидкость; 6 — капилляры)**

об оборудовании компании Emerson Process Management и, в первую очередь, о датчиках давления Rosemount, как об очень надежных и стабильных приборах, действительно доминирующих на мировом рынке.

Надежность работы завода зависит от надежности всех его элементов, особенно от систем контроля качества и безопасности технологических процессов. Основные элементы этих систем — контрольно-измерительные и регулирующие приборы. Выбор качественных

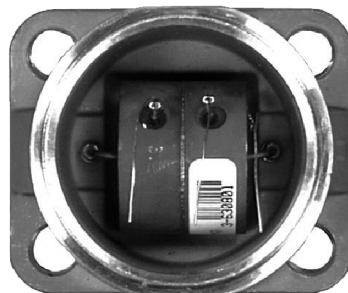
измерительных приборов с долговременной стабильностью — это базовый и наиболее простой путь снижения операционных затрат, повышения производительности оборудования и обеспечения постоянного качества продукта.

В этой статье раскрываются 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 году (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 году 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?

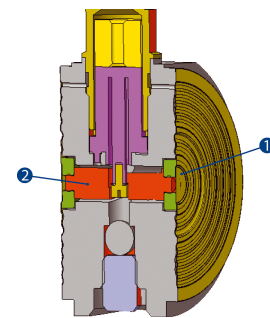
В первую очередь необходимо обратить внимание на сердце прибора — емкостной чувствительный элемент (рис. 1). Две симметричных полусферы большого радиуса выполнены в стеклянных основаниях корпуса 1, на поверхность полусфер напылены металлические пленки 2, составляющие неподвижные обкладки двух конденсаторов. Тонкая плоская металлическая мембрана 3, расположенная между полусферами, является подвижной обкладкой этих конденсаторов. Та-



**Рис. 2. Конструкция сенсорной капсулы датчика Rosemount 3051**

**ROSEMOUNT**  
**МЕТРАН**

ким 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



**Рис. 3. Конструкция типовой отечественной датчика давления**

измерительную мембрану. Необходимо отметить, что объем заполняющей жидкости в данной конструкции почти в 30 раз меньше, чем объем жидкости в традиционных датчиках типа «Сапфир». 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 расширении/сжатии 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 темпе-

ратурных деформаций деталей и соединений. Такое решение вкупе 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  $10^\circ\text{C}$ , дополнительная погрешность воздействия статического давления —  $\pm 0,007\%$  на 1 МПа).

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



Рис. 4. Копланарная конструкция датчика Rosemount 3051 C

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 датчика типа «Сапфир», 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 семидесятых 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 значительного диаметров мембран, то при сварке возможна несоосность гофров мембраны и точеного профилированного упора. Именно поэтому мембраны после сварки 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.

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 коррозионностойких сплавов, на метрологические параметры таких датчиков не влияют утонение мембран или отложение примесей.

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

ным элементом 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 вентиляльного 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. прибо-



Рис. 5. Расходомер перепада давления Метран-350

Таблица 1

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, соевым растворам (кроме солей фтора, хлора, брома и йода). Не устойчива к концентрированной серной и соляной кислотам. Высокая устойчивость к водородосодержащим средам
Нержавеющая сталь 316 с золотым покрытием Monel (67% Ni, 33% Cu)	Высокая сопротивляемость к фторной, серной и фосфорной кислотам и солям. Возможно проникновение водорода при высокой концентрации. Высокая устойчивость к проникновению атомарного водорода, коррозионностойка к фтористоводородной кислоте
Monel с золотым покрытием	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.
Hastelloy C (54% Ni, 16% Cr, 16% Mo)	Высокая устойчивая 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.

ров во всем мире. Для примера, 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).

С развитием микроэлектроники и современных технологий датчик Rosemount 3051 подвергался различным модернизациям, впрочем, не менявшим принципиально конструкции 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 программное обеспечение, добавлялись различные функциональные возможности, такие как выбор инженерных единиц, расширенная диагностика прибора и т. д. Безусловно, обо всех особенностях электроники, программного обеспечения 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 6 видов материалов (табл. 1)

В 2008 году 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 специфика-

ции будущих проектов. Также не меняются присоединительные размеры и монтажные части. Внешние изменения показаны на рисунке 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.

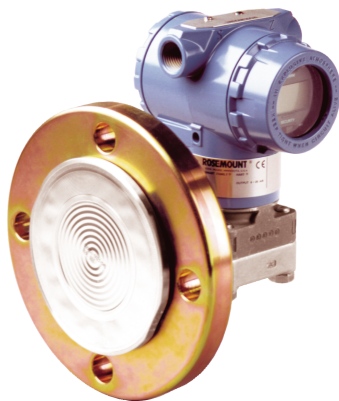


Рис. 7. Датчик гидростатического давления Rosemount 3051L

Во-первых, статическое давление для датчиков перепада давлений увеличивается до 42 МПа, и это открывает 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 противаварийной 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).

Все заводы, производящие Rosemount 3051 в США, Германии, России и КНР, в течение ближайших нескольких



Рис. 8. Датчик давления с открытыми мембранами удаленного монтажа

лет перейдут на новую пятую версию Rosemount 3051, и этот модернизированный датчик будет поставляться заказчиком по умолчанию. Чтобы развеять сомнения тех, кто российскому предпочитает «Made in...», остановилось на сборочной линии в России. Это производство создано в 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; при желании может быть легко организована приемка изготовленных приборов заказчиком непосредственно на заводе.

Датчики из Челябинска получили паспорт прибора, первичную российскую поверку и полноценное сервисное обслуживание. Специалисты технической поддержки готовы квалифицированно подобрать прибор именно для Вашего применения и дать 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 технологическими процессами во всех отраслях промышленности.

Для получения консультации обратитесь в Центр Поддержки Заказчиков по тел.: (351) 247-16-02, 247-15-55. Для ознакомления с отзывами, подробной технической информацией, для получения контактов регионального представительства в Вашем регионе посетите сайт [www.metran.ru](http://www.metran.ru).

*In this article features of a design of Rosemount pressure sensors and the technical decisions which have made them by the standard for crucial applications all over the world are opened.*