Отечественные кориолисовые расходомеры – стратегии и «ловушки» импортозамещения

А. В. ЖЕСТКОВ *– к.ф-м.н., директор ООО «ЭлМетро-Инжиниринг»*

Яркий пример политики импортозамещения в РФ – задача создания отечественных кориолисовых расходомеров. Эти весьма сложные электронно-механические устройства, работающие на принципе силы Кориолиса, считаются наиболее точными и универсальными среди всех приборов для измерения расхода жидкости и газа. Коммерческий и технологический учет углеводородов в нефтяной и газовой промышленности в значительной степени основан на использовании именно этих изделий. Однако до недавних пор отечественные разработки в данной области отсутствовали, а рынок России оказался целиком занят импортными расходомерами. В 2010-е годы на рынке появилось несколько отечественных производителей, и они выбрали принципиально различные стратегии.

Массовые кориолисовые расходомеры до сих пор являются одним из наиболее сложных и трудновоспроизводимых приборов для измерения расхода жидкости и газа. И, соответственно, самых дорогих. Причина этого – сложность технологии, заключающаяся во множестве нюансов и ноу-хау, тщательно скрываемых ведущими мировыми фирмами-изготовителями, и дороговизне технологического оборудования для серийного производства. Сам принцип измерений основан на тонких эффектах и требует глубокой проработки конструкции на основе численного моделирования процессов механики и гидрогазодинамики.

Когда на рубеже нулевых и десятых годов XXI века несколько российских приборостроительных компаний поставили перед собой задачу вывести на рынок отечественные кориолисовые расходомеры, перед ними открывались различные альтернативные стратегии импортозамещения.

Одна из них, уже привычная для России, сводилась к ребрендингу, то есть сертификации под отечественной маркой готовых, как правило азиатских, моделей. При этом российское «производство» заключалось лишь в переклеивании шильдиков и калибровке таких приборов на проливочных метрологических стендах.

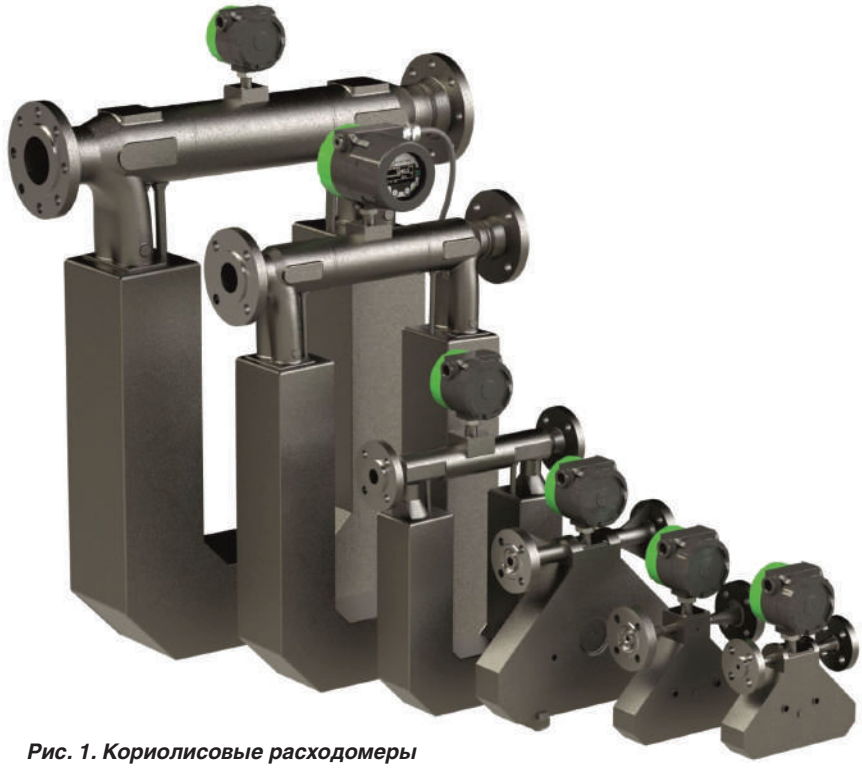

Рис. 1. Кориолисовые расходомеры «ЭЛМЕТРО-Фломак»

Вторая, «быстрая» стратегия предусматривала крупноузловую сборку из комплектующих изделий того же происхождения с постепенной частичной локализацией наименее сложных узлов на отечественных предприятиях по аутсорсингу. Иными словами, это опора на сторонние ресурсы: слепое копирование конструкций азиатских производителей и производственный аутсорсинг.

Третья стратегия, которую и выбрала Группа компаний «ЭлМетро», – наиболее сложная, но и наиболее перспективная – овладение полным циклом технологии расчета, проектирования и изготовления столь наукоемких приборов. Это потребовало больших затрат времени и ресурсов, теоретических исследований и анализа лучших решений от ведущих производителей. Но данная стратегия позволила приобрести бесценные знания и технологический опыт и выработать методику проектирования таких приборов во всем комплексе: от сложных расчетов конструкции датчика до моделирования прецизионных измерительных электронных схем.

Рис. 2. Конструкционная пайка датчиков кориолисовых расходомеров в высокотемпературной вакуумной печи на заводе «ЭлМетро»

Вышедший на рынок в 2011 году кориолисовый расходомер «ЭЛМЕТРО-Фломак» (рис. 1) первоначально был воспринят нефтегазовыми компаниями с опасением. Ведь у всех остался осадок от негативного опыта эксплуатации появившегося в середине нулевых годов и затем снятого с производства первого отечественного кориолисового расходомера. Его чувствительный элемент (датчик) внешне был очень похож на аналоги от западных производителей, но не обеспечивал стабильности и точности измерений. Он был полностью изготовлен методом сварки с присущими ей поводками и низкой точностью выдерживания геометрических размеров.

Дело в том, что принцип работы кориолисового расходомера основан на динамике колебаний системы из двух измерительных трубок, которая служит своего рода камертоном. Его частотная настройка – тонкая операция, подобная настройке музыкального инструмента, а идеальность частотных характеристик обеспечивается тщательностью сборки по принципу склейки деревянных деталей корпуса скрипки. И сварку конструкции кориолисового «камертона» можно уподобить скреплению деталей корпуса скрипки с помощью гвоздей. Вследствие этого и других просчетов, вызванных непониманием многих ноу-хау в технологии изготовления, да и теории работы прибора, новинка оказалась никому не нужна и быстро ушла с рынка.

Понимая сложность задачи, инженеры «ЭлМетро» сразу сделали ставку на высокие технологии производства. Это в первую очередь высокотемпературная конструкционная пайка кориолисового «камертона» в глубоком вакууме с последующим отжигом (рис. 2). Такая технология раньше применялась в нашей стране для столь большеразмерных деталей только в военно-промышленном комплексе. Лишь она позволила достичь высокой точности и повторяемости параметров механического чувствительного элемента датчика. Проводимая последовательно в едином технологическом цикле операция отжига обеспечивает стабильность частотно-резонансной характеристики чувствительного элемента во времени и под нагрузкой вследствие снятия механических напряжений в конструкции.

Но такая сложная технология обесценивается, если не обеспечить высокую точность формования/изгиба измерительных трубок как основных составляющих частей колебательной системы кориолисового датчика. Для достижения заданной геометрии завод «ЭлМетро» приобрел высокоточное оборудование и разработал специальную оснастку для 3D-формования трубок без деградации округлости сечения. Основная цель – достижение высокого качества, сбалансированности колебаний и стабильности частотной характеристики. Но и этого оказалось недостаточно. Для обеспечения требуемой сбалансированности потребовалось применить высокоточный контроль геометрии трубок с помощью координатно-измерительной 3D-установки с последующим индивидуальным подбором каждой пары (рис. 3).

Добившись максимума точности датчика расходомера, разработчики «ЭлМетро» не имели права потерять ни одной сотой доли процента достоверности измерений на электронном преобразовании сигнала. Особенностью электроники кориолисового расходомера «ЭЛМЕТРО-Фломак» стала прямая цифровая обработка первичного аналогового сигнала сенсора с необходимыми элементами адаптивной фильтрации помех и шумов, коррекции по давлению, температуре и неоднородности измеряемой среды. Использование специализированного сигнального процессора позволило применить весьма сложные математические алгоритмы вычислений, обеспечивающие высокую точность измерений, сохранив значительную скорость обновления данных. Последнее весьма критично для пульсирующих течений расходомеров в системах дозирования и слива-налива.

Разработчики электроники, по-видимому, первыми в мире применили для полевых устройств во взрывонепроницаемой оболочке емкостную клавиатуру, работающую сквозь 10 миллиметровое стекло. Это позволило отказаться от традиционной инфракрасной клавиатуры подобных приборов, неэргономичной и уязвимой к ложным срабатываниям.

>>>

Выбранная Группой компаний «ЭлМетро» стратегия освоения полного цикла технологий (расчет, проектирование и изготовление) позволила избежать ловушек, которые кроются в альтернативных «быстрых» решениях. Ее основа – развитие ключевых технологий производства кориолисовых расходомеров на своем заводе. Многолетний опыт разработки показал, что, только держа технологический процесс под своим контролем, можно получить качественную метрологию кориолисовых расходомеров. Опыт международных компаний так же свидетельствует о концентрации всех высокотехнологичных операций на своем производстве. Таким образом, предприятию удалось избежать «ловушки» аутсорсинга: в случае с кориолисовыми расходомерами стандартная схема производственного аутсорсинга для ключевых технологических операций не работает, поскольку приводит к существенному ухудшению конечных технических характеристик продукта.

В качестве примера можно привести упомянутую важнейшую технологическую операцию высокотемпературной вакуумной конструкционной пайки измерительных трубок датчика с последующим его отжигом (рис. 2). Без этого невозможно достичь стабильности механических свойств, а значит, и стабильности метрологических характеристик. Однако соответствующее оборудование очень громоздко, дорогостояще и требует высокой квалификации при обслуживании. Казалось бы, естественный путь – передать эту операцию на аутсорсинг, например, на предприятия военно-промышленного комплекса, где такое оборудование есть. Но это одна из ловушек, подстерегающих приборостроителя, поскольку технология и объем работ, которые там могут быть выполнены, ориентированы на конструкционную прочность и механическую надежность.
В данном же случае не менее важно выполнить специфические требования: обеспечить воспроизводимость и стабильность частотных характеристик. Это требует подбора паяльных материалов, длительной отработки и оптимизации оснастки для пайки и многого другого, что невозможно отладить на «чужом» производстве. К тому же с учетом режимности таких предприятий контроль и авторский надзор за техпроцессом, скорее всего, невозможен.

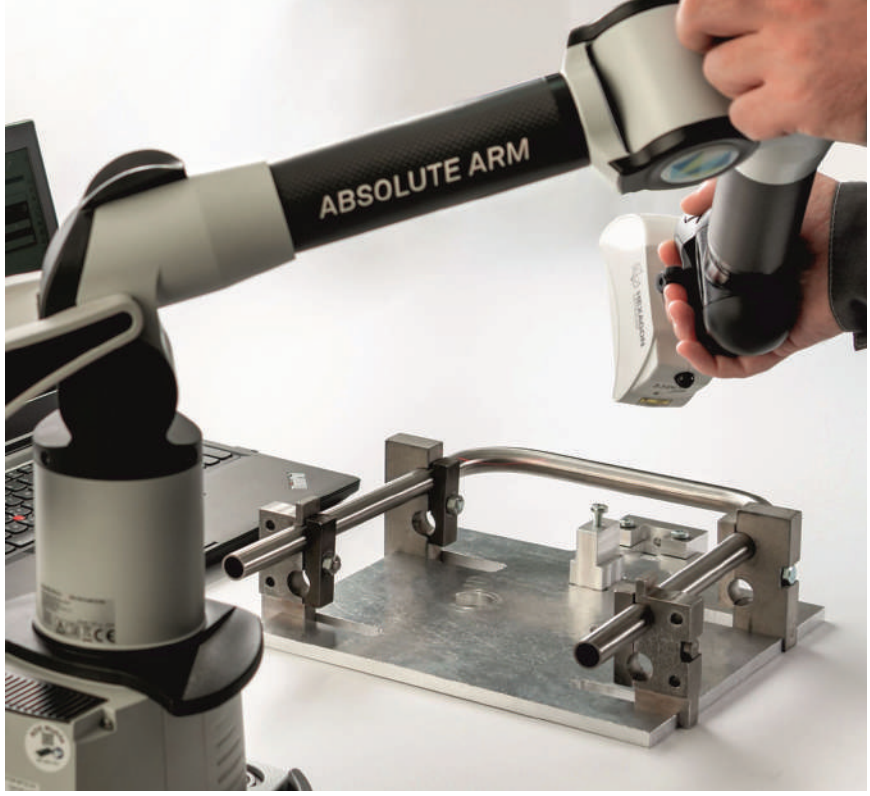

Рис. 3. Контроль геометрии измерительных трубок с помощью координатно-измерительной 3D-установки на заводе «ЭлМетро»

Другим примером неэффективности аутсорсинга производства кориолисовых расходомеров может служить технологическая операция изгиба/формования измерительных трубок – основных элементов кориолисового «камертона». Она, конечно, может быть выполнена контрактными производителями на общепромышленном трубогибном оборудовании, минимально достаточном для изготовления полотенцесушителей и выхлопных труб автомобилей. Это будет бюджетный и внешне соответствующий необходимым требованиям прибор, но точность изготовления остается неутешительной.

Еще одна ловушка следования «быстрым» стратегиям импортозамещения ведет к ограниченности продуктовой линейки. У азиатских производителей кориолисовых расходомеров отсутствуют типоразмеры менее Ду 10 мм. Это связано с существенно большей сложностью их проектирования и изготовления, повышенными требованиями к точности и сбалансированности колебательной системы измерительных трубок датчика. В отсутствие «прототипов» нет этих диаметров и у отечественных производителей, работающих по азиатским лекалам. В то же время серьезная потребность в таких типоразмерах возникла для комплектования систем дозирования реагентов в нефтегазовой промышленности, фармацевтике, малотоннажной химии.

Основываясь на своих компетенциях в проектировании и технологии производства, Группа компаний «ЭлМетро» разработала линейку кориолисовых расходомеров, начинающуюся от Ду 2 мм. Столь малых типоразмеров нет ни у кого из отечественных производителей.

В настоящее время линейка приборов «ЭЛМЕТРО-Фломак» представлена типоразмерами Ду от 2 до 200 мм, что покрывает диапазон расходов менее чем от 1 кг/ч до 1100 т/ч. Достигнута точность до ±0,1% при измерении расхода жидкостей и ±0,35% при измерении газов. Это соответствует самым высоким требованиям всех нефтехимических компаний.

Наряду с развитием типоразмерного ряда и повышением точности собственные разработки позволили управлять функциональностью приборов, откликаясь на требования заказчиков. Производители автоматизированных групповых замерных установок (АГЗУ) газоводонефтяной эмульсии на нефтяных скважинах заинтересованы в применении кориолисовых расходомеров, максимально устойчивых к наличию газовой фракции. Это позволяет снизить требования к узлам предварительной сепарации газа и, соответственно, уменьшить их себестоимость. Совершенствование конструкции датчика и электронного преобразователя расходомера «ЭЛМЕТРО-Фломак» обеспечило устойчивость их работы даже с учетом высокого газового фактора.

Рис. 4. Стенд «ЭлМетро» в рамках экспозиции ПАО «Газпром» на VIII Петербургском международном газовом форуме «Импортозамещение в газовой отрасли»

При объемной доле газа до 3% в рабочих условиях выполняются требования ГОСТ 8.615 к точности измерения расхода жидкой фазы. Несколько сотен приборов «ЭлМетро» установлено в составе АГЗУ, эксплуатирующихся ведущими нефтяными компаниями РФ и Казахстана.

Устойчивость к газовым включениям очень важна и при измерении газового конденсата. «ЭЛМЕТРО-Фломак» внесены в Реестр материально-технических ресурсов ПАО «Газпром» и активно применяются на объектах общества.

«ЭЛМЕТРО-Фломак» – многопараметрические приборы, позволяющие кроме расхода жидкости и газа одновременно измерять плотность и температуру среды. Проведенные научно-исследовательские и конструкторские работы позволили создать специализированную модель прибора с повышенной точностью измерения плотности ±0,3 кг/м^3 в широком диапазоне плотностей, причем без необходимости калибровки на рабочей жидкости. Изделия создавались в рамках дорожной карты ПАО «Газпром» по импортозамещению. Она предусматривает, в частности, замену автоматических поточных плотномеров Solartron и CDM100, долгое время монопольно применявшихся в России в системе измерений количества и качества нефти и блоках измерения качества нефти и газового конденсата. Проведены успешные эксплуатационные испытания прибора на одном из объектов ПАО «Газпром».

Качество технологий и продукции «ЭлМетро» подтверждено большим количеством аудитов и инспекций системы менеджмента качества разработок и производства, проведенных крупными компаниями: ПАО «Газпром», ПАО «Газпром нефть», ООО «Арктик СПГ», ПАО «Транснефть» и др. Результатом можно считать доверие заказчиков, в том числе вертикально интегрированных компаний, и включение продукции в их программы импортозамещения. Знаковым стало приглашение разместить стенд компании в экспозиции ПАО «Газпром» в рамках VIII Петербургского международного газового форума «Импортозамещение в газовой отрасли» (рис. 4).

Немаловажное преимущество опоры на собственные компетенции и технологии – доступная стоимость приборов для потребителя. Нынешнее соотношение валютных курсов делает импортозамещение экономически выгодным. Достигнутый уровень метрологических характеристик и технологии производства кориолисовых расходомеров в Группе компаний «ЭлМетро» гарантирует заказчикам уверенность в обоснованности замещения импортной продукции качественным российским оборудованием.

Таким образом, выбранная «ЭлМетро» стратегия создания отечественных кориолисовых расходомеров показала свою эффективность. Она основывается на овладении полным циклом компетенций и технологий. По сути, это и есть подлинная реализация концепции технологической независимости России, ставшей столь актуальной в условиях санкционных ограничений. Компания продолжает исследования и разработки в перспективных направлениях: измерение криогенных сред (сжиженного природного газа), измерение многофазных сред, глубокая самодиагностика приборов с предсказанием изменения метрологических характеристик. «ЭлМетро» готова к сотрудничеству с ведущими вертикально интегрированными компаниями страны и метрологическими институтами.

ЭЛМЕТРО
ЭНЕРГИЯ ИННОВАЦИЙ

ООО «ЭлМетро-Инжиниринг»
454014, г. Челябинск,
Комсомольский пр., д. 60Б
тел. 8 (800) 222-1419
e-mail: info@elmetro.ru
www.elmetro.ru