

ВСЕ ЛИ ГЛАДКО В «ДАТСКОМ КОРОЛЕВСТВЕ», или взгляд наблюдателя на высокие технологии нефтесбыта

О небольшом практическом опыте применения датчиков Micro Motion

В последние годы на отечественных нефтебазах и наливных пунктах все чаще строятся АСН нового поколения – с импортным электронным измерительным блоком, автоматически определяющим объем, плотность, температуру и массу отпускаемого продукта. Примерно в 90% случаев предпочтение отдается датчикам Micro Motion, которые поставляются скандинавской фирмой Emerson.

Точность новых АСН существенно выше отечественных АСН, производимых в г.Ливны и имеющих механические счетчики. В силу этого новые АСН проходят госповерку, после чего приобретают статус узлов коммерческого учета.

Но иногда оказывается, что нефтебазы, после того как устанавливают АСН с использованием счетчиков Micro Motion, оказываются в ситуации, лишней раз подтверждающей правило *лучшее – враг хорошего*.

Представьте картину: на дисплее АСН оператор нефтебазы набирает объем, указанный в свидетельстве о поверке автоцистерны, после чего включает насос. Проходит несколько минут, продукт налит в автоцистерну, насос прекращает работу. Оператор с эстакады переходит на автоцистерну, чтобы опломбировать горловину, и что он видит?

А он видит, что уровень продукта в горловине не совпадает с планкой. Другими словами, объем продукта, который был указан в свидетельстве о поверке цистерны и который был набран на дисплее и отпущен через АСН, не совпадают.

Итак, вопрос: кто врет – свидетельство о поверке автоцистерны? или Micro Motion?

Вопрос не праздный.

Если даже недолив (перелив) в горловине в среднем составляет ± 2 см, что соответствует недоливу (переливу) ± 12 литров, но при этом недоливы (переливы) имеют систематический характер, то есть недоливы и переливы взаимно друг друга не уравнивают, то за три-четыре месяца на наливном пункте средней пропускной способности эти самые ± 2 см превратятся или в десятки кубов недостач, или в десятки кубов излишка.

Как поступают нефтебазы и наливные пункты, сталкиваясь с таким явлением?

Некоторые, не особо афишируя собственный «передовой опыт», поступают с автоцистернами почти в том же духе, как обещал аптекарь в классике отечественного детективного жанра: «радикально-черный цвет». Они выстраивают все свои автоцистерны в колонну и прогоняют их через АСН. Далее в соответствии с показаниями Micro Motion ... оформляют новые свидетельства о поверке. В них указан объем, который следует из показаний счетчика Micro Motion и объема, соответствующего недоливу (переливу) в горловине автоцистерны.

Словом, подстригают все автоцистерны под одну гребенку. Или все же заматают мусор под ковер? В любом случае, понятное дело, и волки сыты, и овцы целы.

Заграница нам поможет?

Однако некоторые нефтебазы и наливные пункты, особенно из числа тех, кто не имеет собственного парка автоцистерн, поступают иначе.

В частности, оказавшись перед фактом вранья – или свидетельств о поверке автоцистерн, или счетчиков Micro Motion, – автор статьи предпринял поиск «врага» сначала в стане автоперевозчиков, тем более что зуб на них имелся немалый.

Однако очень быстро выяснилось, что недоливы (переливы) никак не коррелируют ни с

температурой продукта, которая могла бы повлиять на вместимость автоцистерны, ни с конкретными автоцистернами. Одна и та же автоцистерна, при одной и той же температуре продукта, сегодня могла показать недолив, а спустя день уже перелив.

Что делать? Пришлось обратить взор на заграничный прибор.

Из разговоров со специалистами, устанавливающими и налаживающими счетчики Micro Motion, выяснилось немного: как правило, для специалистов эти датчики были «черным ящиком». Правда, общение все же не было совсем уж безрезультатным: удалось узнать адрес фирмы Emerson в интернете.

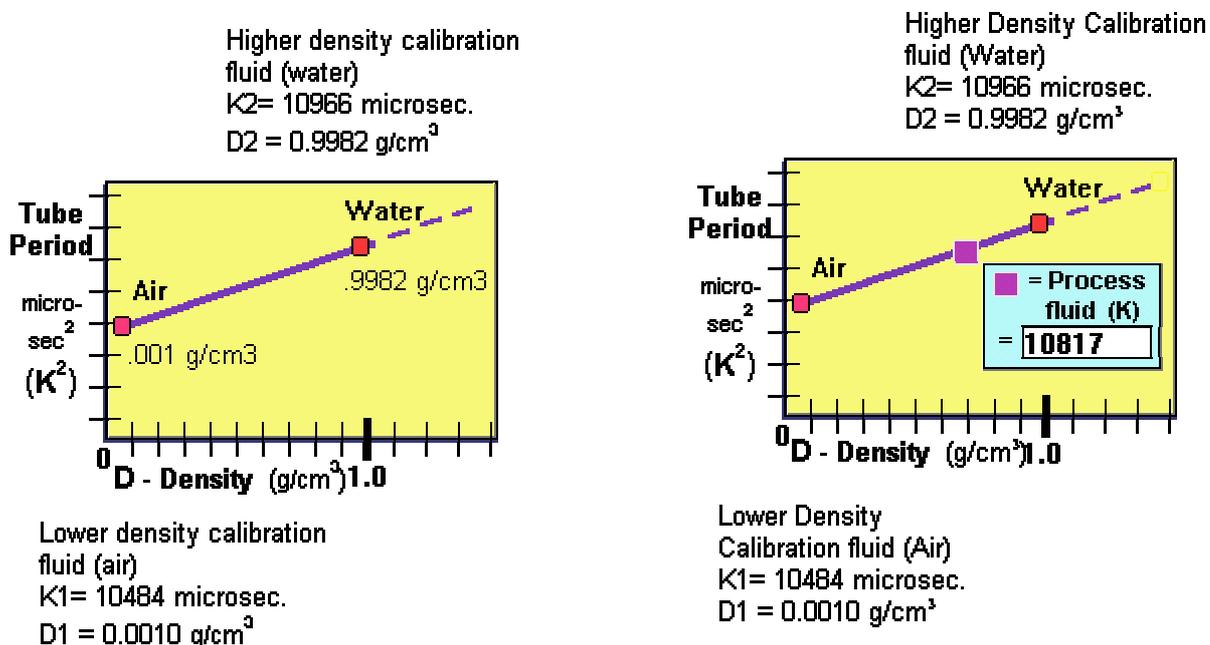
На сайте обнаружился учебник (Tutor), в котором фирма объясняла принцип, лежащий в основе работы оснащенного датчиком Micro Motion плотномера¹.

Объяснение состояло из семи шагов. Первые четыре шага объяснения не впечатлили. Но последующие не подвели. Увиденное, что называется, превзошло все ожидания.

Вот в меру стилизованный под литературный язык перевод шага 5, объясняющего принцип работы плотномера на основе кориолисовых сил²:

Каждый датчик откалиброван для определения плотности с использованием воздуха и воды в лабораторных условиях. Сначала труба заполняется воздухом, и датчик регистрирует период колебаний трубы как K_1 . Фактическая плотность воздуха, которая определена независимым способом, регистрируется как D_1 . Затем труба заполняется водой, и период колебаний трубы регистрируется как K_2 . Плотность воды, опять же определенная независимым способом, регистрируется как D_2 . Полученные значения, а также отношения K_1/D_1 и K_2/D_2 , устанавливаются индивидуально для каждого датчика, предназначенного для определения плотности в промышленных условиях.

Ниже приводится схематичное изображение принципа определения плотности (с позволения авторов Tutor-а³, а если точнее, то со ссылкой на сайт, дабы не оказаться ненароком укоряемым в беспочвенных претензиях):



Итак, принцип определения плотности весьма прост. Для потока с минимальной плотностью (воздух) определяется минимальный период колебаний трубы, для потока с максимальной плотностью (вода) определяется максимальный период колебаний трубы.

¹ Учебник (Tutor), раздел «Принцип определения плотности» (Density Operating Principle). Адрес в интернете: <http://www.emersonprocess.com/micromotion/tutor/>

² Там же.

³ Там же.

Полученные точки связывают между собой прямой Air-Water, а далее на практике решается обратная задача. От известного колебания трубы на оси Tube Period (период колебаний трубы) проводится горизонтальная прямая до пересечения с прямой Air-Water. Из точки пересечения опускается вертикальная прямая на ось Density (плотность), и найденная таким образом точка пересечения с осью Density покажет искомую плотность потока.

Все бы замечательно, если бы не одно «НО».

Если Tutor излагает принцип определения плотности абсолютно точно, то возникает вопрос: а почему на одну доску (точнее, на одну прямую) поставлены вода и воздух?

Сие не мелочь.

Плотность воздуха, как известно, зависит от температуры и соответственно варьирует в широких пределах: при температуре +30°C это одна величина, при +5°C это уже совсем другая величина.

Плотность же пресной воды, как мы все знаем из курса школьной физики, есть величина постоянная в температурном диапазоне от -4°C (точка замерзания) до +100°C (точка кипения). И это очень хорошо. Ведь если бы плотность воды зависела от температуры (допустим, так же, как плотность нефтепродуктов), то в худшем случае жизни на Земле попросту не существовало бы, а в лучшем наши размеры менялись бы на глазах (летом больше, зимой меньше), и мы никогда не смогли бы подобрать себе стильную одежду (ну, разве что резиновую).

Следовательно, на приведенных выше рисунках верхняя точка графика (для воды) в реалистичном диапазоне температур будет постоянно находиться в одном и том же месте. А вот нижняя (для воздуха) – нет. Она будет плавать.

Таким образом, мы обнаруживаем нечто удивительное.

Поскольку датчик калибруется на различных веществах (вода и воздух), то это значит, в основе принципа определения плотности в датчиках Micro Motion лежит неявное предположение, что изменение плотности имеет **качественную** природу – от вещества к веществу.

На практике же калиброванные таким образом датчики устанавливаются в системах, в которых течет поток одного и того же вещества, а его плотность меняется в зависимости от температуры. То есть на практике датчик работает в условиях, в которых изменение плотности имеет **количественную** природу.

Не происходит ли в таком случае то, что называется путать *грешное с праведным*? В данном случае – качественные различия в плотности с количественными?

Но коль плотность зависит не только от природы вещества (вода или воздух), но еще и от температуры, причем последнее для датчиков Micro Motion даже важнее, то не будет ли правильнее производить калибровку этих датчиков индивидуально для каждого конкретного вещества, но при различных температурах?

Что такой вопрос правомерен, достаточно представить себе два продукта: воду и бензин. Поскольку, как уже говорилось, плотность воды не зависит от температуры, то соответственно для воды мы не получим никакой зависимости периода колебаний от температуры: это будет один-единственный период для любой температуры. Для бензина же мы действительно получим зависимость: поскольку плотность бензина с ростом температуры снижается, то при высоких температурах период колебаний будет меньше, а при низких температурах, наоборот, больше.

Как колебания трубы будут зависеть от температуры вещества в потоке, в общем случае элементарно раскрывается с помощью простейших формул.

Согласно принципу определения плотности на основе кориолисовых сил⁴, период колебаний линейно зависит от плотности, в связи с чем мы можем написать формулу:

⁴ Там же.

$$T = k_1 \rho + b_1, \quad (1), \text{ где}$$

T – период колебаний;

ρ – плотность вещества;

k_1 и b_1 – коэффициенты уравнения, такие, что $k_1 > 0$ и $b_1 > 0$.

Из практики (в частности, нефтепродуктообеспечения) мы также знаем, что плотность газообразных и жидких веществ (за исключением воды) линейно зависит от температуры, при этом с возрастанием температуры плотность уменьшается:

$$\rho = k_2 t + b_2, \quad (2), \text{ где}$$

ρ – плотность вещества;

t – температура вещества;

k_2 и b_2 – коэффициенты уравнения, такие, что $k_2 < 0$ и $b_2 > 0$.

Подставим формулу (2) в выражение (1) с целью получить зависимость периода колебаний трубы от температуры:

$$T = k_1 \rho + b_1 = k_1 (k_2 t + b_2) + b_1 = k_1 k_2 t + k_1 b_2 + b_1 \quad (3).$$

Таким образом, период колебаний трубы под воздействием кориолисовых сил, согласно формуле (3), также линейно зависит от температуры, причем с возрастанием температуры период уменьшается. Об этом говорит знак произведения коэффициентов k_1 и k_2 : он будет отрицателен, то есть $k_1 k_2 < 0$.

Следовательно, грамотно построенная калибровочная шкала для плотномера с использованием кориолисовых сил будет представлять собой прямую, которая зависит как от плотности, так и от температуры. Но поскольку коэффициенты k_2 и b_2 , в отличие от универсальных коэффициентов k_1 и b_1 , являются индивидуальными для каждого вещества, то это значит, что прямая периода колебаний, учитывающая температуру вещества согласно формуле (3), будет также индивидуальна для каждого вещества. Иначе говоря, плотномер, работающий на основе кориолисовых сил, должен настраиваться индивидуально под проект – газ, молоко, спирт, бензин, дизельное топливо и так далее.

Что и требовалось доказать.

Допускаю, правда, мысль, что мне могут возразить, что, дескать, в Tutor-e⁵, на шаге 6 раздела «Принцип определения плотности» (Density Operating Principle), упоминается, что в датчике также учитывается температурный фактор. Но, во-первых, это постоянный температурный коэффициент, а во-вторых, он предназначен для учета температурной эластичности трубы (именно потому он и постоянен), а вовсе не того вещества, которое течет в этой трубе.

Завершим вопросом к производителям счетчиков Micro Motion: а как же все-таки обстоит дело с учетом температуры продукта, плотность которого определяется? Словом, все ли гладко в «датском королевстве»?

Или же авторы Tutor-а излишне, сверх всякой меры, упростили схему изложения?

⁵ Там же.