

ИЗМЕРЕНИЕ ОБЩЕЙ МАССЫ СУГ В РЕЗЕРВУАРЕ РАДИОЧАСТОТНЫМ ДАТЧИКОМ

Терешин В. И.

ООО “Техносенсор”, г. Санкт-Петербург

www.tsensor.ru, technosensor@yandex.

В докладе рассматриваются новые технические решения для измерений массы сжиженных углеводородных газов в резервуарах.

В отличие от традиционно используемого косвенного метода статических измерений массы продукта, основанного на измерениях плотности и объема продукта в мерах вместимости, используется прямой метод измерения общей массы продукта в резервуаре.

При использовании радиочастотного датчика массы обеспечивается более точное измерение массы жидкой и газообразной фаз продукта, чем при косвенном методе статических измерений.

Введение

Сжиженный углеводородный газ (СУГ) представляет собой смесь пропана и бутана, в которой в небольшом количестве присутствуют метан, этан и другие компоненты [1], [2].

При этом, плотность жидкости зависит не только от температуры, но и от компонентного состава газа, компонентный состав пара отличается от состава жидкости и изменяет свой состав и плотность при изменении температуры и при приеме или отпуске продукта.

При применении косвенного метода статических измерений массы продукта возникают значительные методические погрешности из-за непостоянства контролируемых параметров.

Радиочастотный метод измерения массы СУГ

Предлагаемый радиочастотный метод характеризуется упрощенным процессом измерения массы. Устройство для реализации метода содержит радиочастотный датчик 4 – коаксиальный резонатор (цилиндрический конденсатор), заполняемый СУГ, шесть датчиков температуры $5_1, 5_2, 5_3, 5_4, 5_5, 5_6$, равномерно расположенных по длине датчика, электронный блок 6 и регистратор 7.

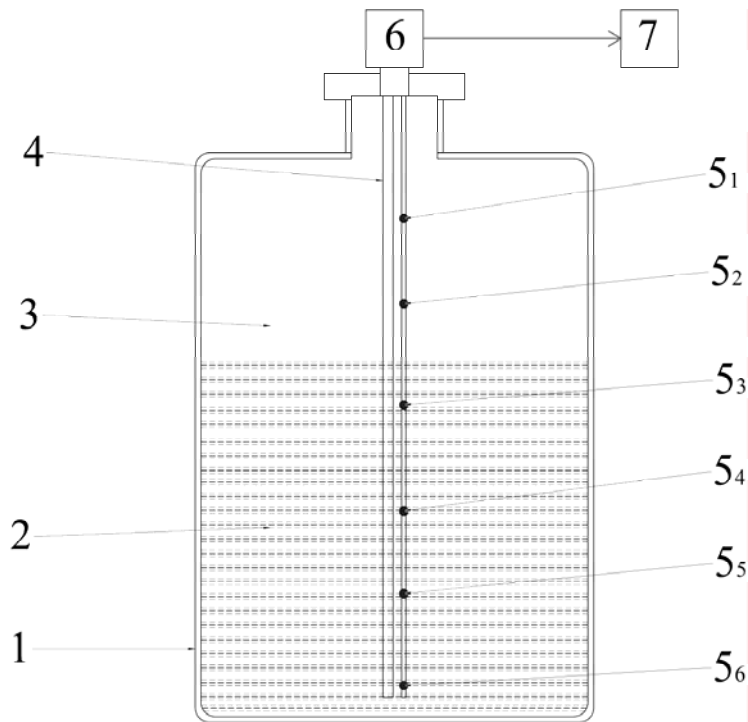


Рис. 1. Измерительная система.

Приращение C_s электрической емкости радиочастотного датчика, вызванное наличием в резервуаре жидкой и газовой фазы СУГ:

$$C_s = C_l \times [(\epsilon_{ж}-1) \times h + (\epsilon_{г}-1) \times (l-h)] \quad (1)$$

Здесь C_l – погонная (т.е. на единицу длины) электрическая емкость датчика; h – уровень жидкой фазы СУГ, заполняющей датчик; l – длина радиочастотного датчика; $\epsilon_{ж}$ – диэлектрическая проницаемость жидкой фазы СУГ; $\epsilon_{г}$ – диэлектрическая проницаемость газовой фазы СУГ.

Диэлектрические проницаемости пропана и бутана и их смесей, входящих в состав СУГ, рассчитываются по формулам:

$$\epsilon_{ж} = 1 + \rho_{ж} / [K \times (1 + T_s \times t)] \quad (2)$$

$$\varepsilon_r = 1 + \rho_r / [K \times (1 + T_s \times t)] \quad (3)$$

где $K = \rho_{ж0} / (\varepsilon_{ж0} - 1) = 0,741 \text{ г/см}^3$

T_s – коэффициент температурной коррекции, $T_s = 0,0006$

Примечание: коэффициент T_s устраняет температурную погрешность, которая составляет для плотности и для массы 0,06% на градус (температурный коэффициент изменения плотности сжиженных газов составляет 0,26% на градус).

Для усреднения значений и повышения точности температура измеряется шестью датчиками, вычисляется среднее значение температуры по всем датчикам.

Производится допусковый контроль – если значение температуры с какого-либо датчика отличаются более, чем на 3 градуса от значений температуры от соседних датчиков, показания этого датчика отбрасываются (не участвуют в измерении).

Подставим (2) и (3) в формулу (1) и найдем уровень h :

$$C_s = C_l \times [(\rho_{ж} / [K \times (1 + T_s \times t)]) \times h + (\rho_r / [K \times (1 + T_s \times t)]) \times (l - h)] \quad (4)$$

$$h = [1 / (\rho_{ж} - \rho_r)] \times \{ [C_s \times K \times (1 + T_s \times t) / C_l] - \rho_r \times l \} \quad (5)$$

Масса СУГ в резервуаре:

$$M = V \times \rho_{ж} + (V_0 - V) \times \rho_r = S \times h \times \rho_{ж} + S \times (l - h) \times \rho_r \quad (6)$$

где S – площадь поперечного сечения резервуара;

V – объем жидкости

V_0 – объем резервуара

Подставив (5) в (6), получаем:

$$M = [1 / (\rho_{ж} - \rho_r)] \times \{ [C_s \times K \times (1 + T_s \times t) / C_l] - \rho_r \times l \} \times S \times (\rho_{ж} - \rho_r) + S \times l \times \rho_r \quad (7)$$

После сокращения получаем:

$$M = S \times C_s \times K \times (1 + T_s \times t) / C_l \quad (8)$$

Таким образом, масса СУГ в резервуаре при различных соотношениях массы газовой и жидкой фазы и при различном компонентном составе определяется по формуле (8) и зависит только от приращения емкости C_s и от температуры t .

Для определенности будем рассматривать измерения массы СУГ в вертикальном резервуаре цилиндрической формы. Для резервуаров иной формы или (и) располагаемых иным образом, в частности, для горизонтально расположенных цилиндрических резервуаров, получаемые результаты пересчитывают с учетом геометрии и расположения резервуаров.

Датчик позволяет определять массу СУГ, содержащегося в емкости, с высокой точностью независимо от фазового состояния продукта и соотношения жидкой и газовой фаз, наличия кипения.

Инвариантность к компонентному составу продукта

Электрическая емкость датчика (приращение емкости) пропорциональна уровню его заполнения СУГ и диэлектрической проницаемости жидкой фазы СУГ. Паровая фаза СУГ тоже дает приращение электрической емкости датчика, пропорциональное плотности паровой фазы СУГ и длине части датчика, находящейся в паре. Сжиженные углеводородные газы являются диэлектриками, их диэлектрическая проницаемость зависит от состава СУГ и от температуры. Диэлектрическая проницаемость СУГ пропорциональна их плотности, а приращение электрической емкости датчика пропорционально произведению уровня на плотность – массе. На рис. 2 изображены графики зависимости диэлектрической проницаемости пропана и бутана от температуры.

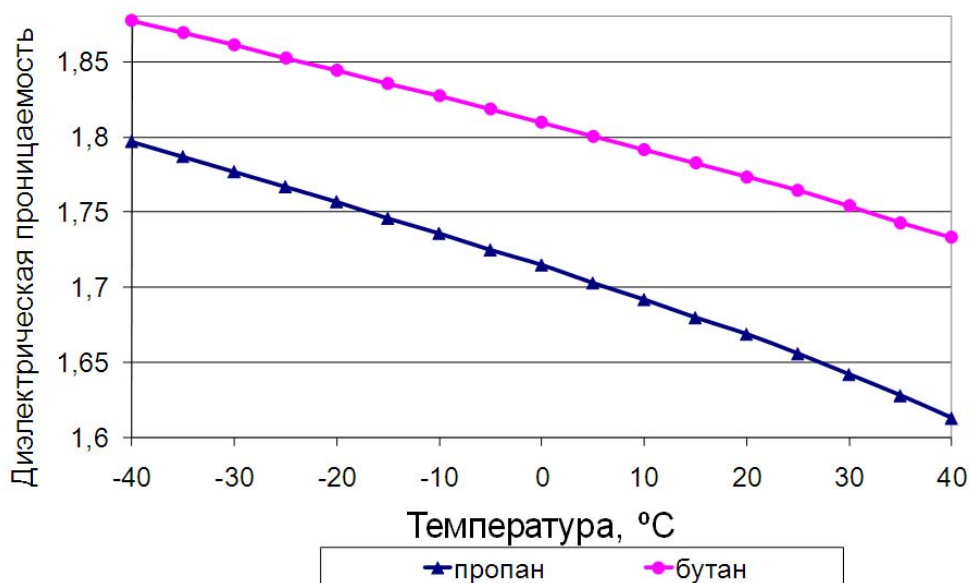


Рис. 2. Зависимости диэлектрической проницаемости пропана и бутана от температуры.

На рис. 3 отражены результаты моделирования температурной погрешности измерения массы СУГ в измерительной системе с радиочастотным датчиком, настроенным на измерение массы пропана: погрешности измерения массы пропана и

массы бутана без температурной коррекции; погрешности измерения массы пропана и массы бутана с температурной коррекцией + 0,06 % на 1 °С (коррекция по температуре для пропана).

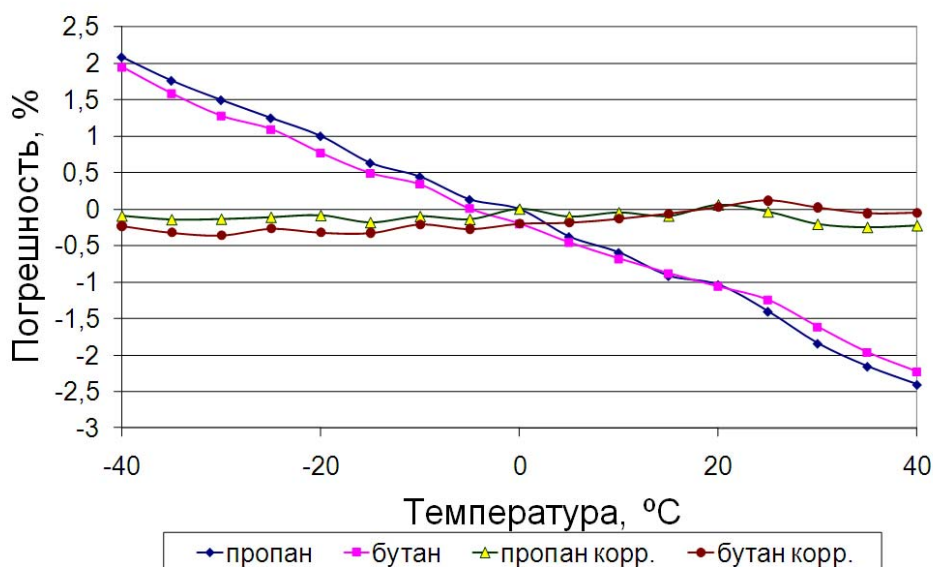


Рис. 3. Зависимости погрешности измерения массы СУГ в измерительной системе с датчиком, настроенным на измерение пропана, от температуры.

Как видно из графиков, измерительная система, настроенная на измерение массы пропана, с погрешностью не более $\pm 0,2 \dots 0,3\%$ будет измерять массу бутана в широком диапазоне температур и, соответственно, массу смесей пропана и бутана.

Инвариантность к компонентному составу СУГ является важнейшим преимуществом метода.

Практическая реализация

Системы измерительные СУ-5Д выпускает компания «Техносенсор», г. Санкт-Петербург, техническая информация на сайте www.tsensor.ru

Датчик ДЖС-7М системы СУ-5Д устанавливается на резервуаре, крепление резьбовое, 2 дюйма. Любой датчик ДЖС-7М может поставляется с каналом измерения давления. Для измерения давления используется миниатюрный сенсор фирмы Honeywell, встраиваемый в датчик ДЖС-7М

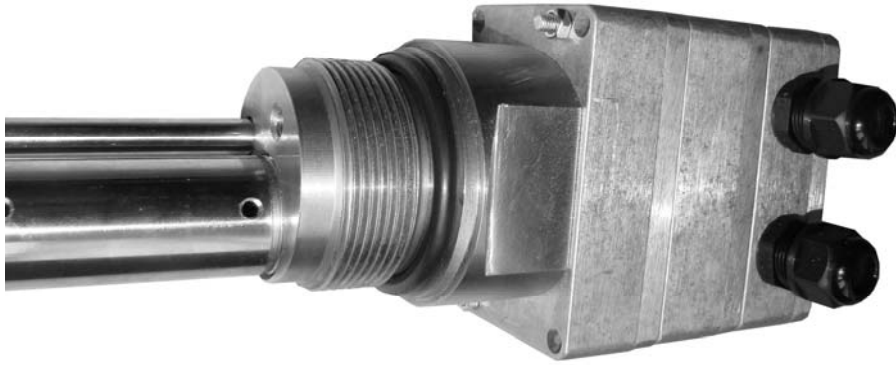


Рис. 4. Датчик ДЖС-7М.

Используется расширенный алгоритм вычислений (рис. 5), который позволяет из общей массы выделить отдельно массу жидкости и массу пара, по температуре и давлению рассчитать плотность жидкости, плотность пара, уровень, объем и состав газа.

Общая масса СУГ при использовании расширенного алгоритма вычисляется по основному алгоритму, по формуле (8). Вычисленные в расширенном алгоритме дополнительные информационные параметры в общей формуле сокращаются.

Дополнительные параметры, вычисляемые по расширенному алгоритму:

- масса жидкости
- масса пара (газообразная фаза)
- плотность жидкости
- плотность пара
- уровень сжиженного газа
- объем сжиженного газа

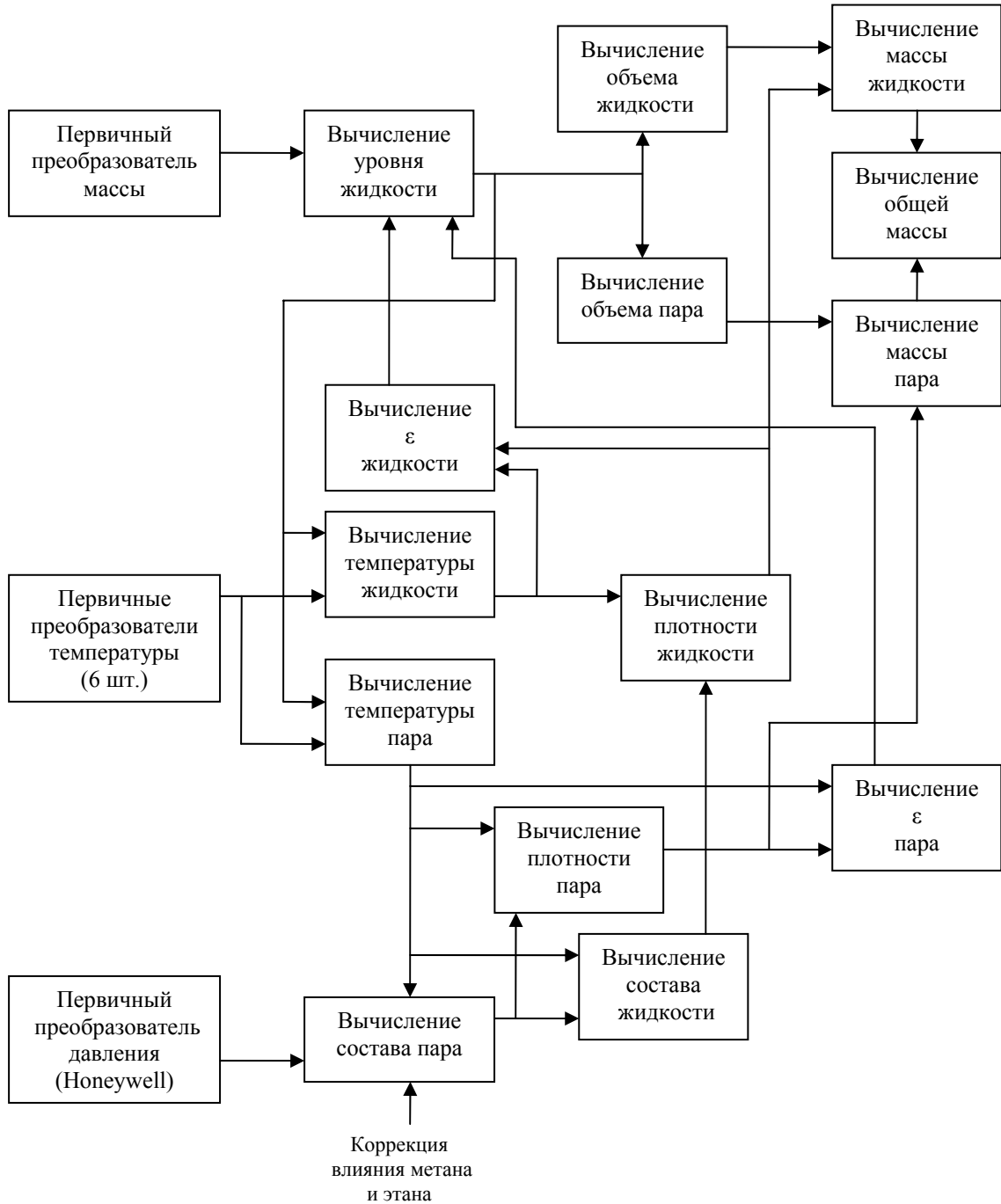


Рис. 5. Расширенный алгоритм вычислений.

Заключение

Новый метод измерения массы сжиженных углеводородных газов позволяет обеспечить достоверный автоматизированный учет СУГ по массе. Требуется установка только одного конструктивно небольшого датчика, это дает возможность оснастить большую часть объектов без доработок резервуаров.

Вместе с тем, требуется решение следующих организационных вопросов:

1. Метод измерения новый, его нет в нормативных документах. Необходима доработка ГОСТов Р8.595 и Р8.785.
2. Для поверки и периодического контроля датчиков массы на резервуарах должны использоваться высокоточные кориолисовые массомеры. На Украине для учета используются чешские газовозы с кориолисовыми счетчиками и переносные массомеры. В России сами счетчики сертифицированы, а газовозы с кориолисовыми счетчиками и портативные массомеры пока не сертифицированы, необходимо их сертифицировать.

Литература

1. Зоря Е.И., Яковлев А.Л., Ларионов С.В. Определение массы сжиженных углеводородных газов при приеме, хранении и отпуске потребителям. М.; ООО «Издательский дом Недра», 2012. – 197 с.
2. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы. М.: Нефть и газ. 2009. 640 с.
3. Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов. М.: Наука. 1989. С. 84 - 117.
4. Совлуков А.С., Терешин В.И. Радиочастотный метод измерения количественных параметров сжиженных углеводородных газов в резервуарах// Измерительная техника. 2005. № 10. С. 68-71.