

УДК 006 (075.8)

Д.Д. Грибанов, О.Ф. Вячеславова, С.А. Зайцев

Московский государственный машиностроительный университет, Москва, Россия

## МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ МАССЫ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ

*В статье предложена методика выполнения измерений количества сжиженных углеводородных газов в единицах массы при приеме, хранении и отпуске через газораздаточные колонки на автозаправочных станциях, с указанием норм погрешностей и неопределенностей измерений массы сжиженных углеводородных газов.*

**Ключевые слова:** неопределённость измерений, погрешность измерений, сжиженные углеводородные газы, количественная оценка.

### Введение

В настоящее время усиливается тенденция использования на автомобильном транспорте в качестве топлива сжиженных углеводородных газов (СУГ) взамен бензина. При всемирном автомобильном буме, когда автозаводы строятся не только в странах с широко развитыми наукой и технологиями, но и в менее развитых странах, в странах с дешевой рабочей силой, основной альтернативой бензинового топлива стали сжиженные углеводородные газы, стоимость которых несколько меньше. С каждым годом всё больше автовладельцев, да и руководителей предприятий, переоборудуют автомобили для работы на газе. Это более экономично для бюджета и более экологически чисто для окружающей среды.

Неудобств с заправкой при этом не возникает – автомобильные газовые заправочные станции (АГЗС) часто встречаются на дорогах, наравне с обычными АЗС. Однако возникает достаточное количество проблем с точностью измерения количественного выражения СУГ.

Как известно, количество бензина измеряется его объемом (литражем). Такой подход абсолютно неприемлем к СУГ, т. е. измерение в литрах привело бы к низкой точности получаемых результатов. В настоящее время в отечественной метрологической практике широко используется понятие «погрешности результатов измерений» или просто «погрешности измерений». Под результатом измерения понимается доля или кратное число единицы, с которой сравнивается неизвестное значение величины с учетом погрешности сравнения. В этом случае погрешность определяется как отличие результата измерения от истинного значения измеряемой величины. В связи с тем, что масса СУГ определяется на основании прямых измерений плотности и объема, для которых истинного значения нет в принципе, применять оценку точности измерений с помощью погрешности измерений не имеет смысла. Поэтому

точность измерений массы этого вида топлива можно оценить только на основании неопределенности измерений, понятия которой представлены в РМГ 43-2001 «ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».

Учет СУГ при приеме, хранении и отпуске – одна из задач бизнеса, уровень решения которой определяет возможности компании в отношениях с поставщиками и материально ответственными лицами, а также общие показатели работы АЗС. Эффективное решение задачи учета СУГ требует выполнения количественных измерений, сопровождающих технологические и товарные операции, что может быть представлено в рамках работы систем коммерческого учета, в которых обеспечивается строгое соответствие количества (объёма), принимаемой к учету массы топлива требованиям законодательства и нормативных документов по обеспечению единства измерений.

Системы коммерческого учета предназначены не только для определения массы СУГ при выполнении товарных операций (прием, хранение, отпуск), но обладают и более широкими возможностями. Данные, формируемые с помощью систем коммерческого учета, можно использовать для товарного учета, для последующих взаимных расчетов между покупателем и продавцом, для отражения в бухгалтерском учете, при определении налогооблагаемой базы, для расчетов с материально ответственными лицами, в арбитраже.

Нормативные требования, которым должна отвечать система коммерческого учета СУГ, сводятся к следующим двум основным положениям:

- используемые средства измерения (СИ) должны состоять в Государственном реестре и быть поверены в установленном порядке;

- определение массы СУГ, принимаемой к учету, должно осуществляться в соответствии с аттестованной в установленном порядке методикой выполнения измерений (МВИ).

Таким образом, система коммерческого учета СУГ на объекте должна строиться на основе аттестованных или гостированных МВИ. Разработку адекватных СИ и МВИ осложняют следующие особенности СУГ [1, 2]:

- значительная нелинейная зависимость плотности СУГ от температуры и соотношения пропана и бутана;

- фазовые переходы при изменении температуры, давления или количества СУГ (испарение, кипение, конденсация);

- широкий диапазон давления в рабочем диапазоне температур;

- склонность к образованию снеговых, ледяных и кристаллогидратных отложений.

Кроме того, следует иметь в виду, что на практике не все товарные операции в цепочке реализации СУГ учитываются в единицах массы. Как правило, учет осуществляется в единицах объема. Поскольку это не сопровождается соответствующим измерением плотности СУГ, масса топлива меняется от операции к операции, из-за чего результаты измерений не соответствуют фактическим характеристикам. Погрешности этих измерений приводят к тому, что из коммерческого учета выпадает значительная часть валового продукта отрасли.

Оценим масштаб этих потерь. Относительная погрешность измерений массы нефти и нефтепродуктов в настоящее время составляет 0,5 – 0,7 %. Так как коммерческий учет при движении нефтепродуктов от промысла до реализации проводится неоднократно (до 20 раз), то суммарная относительная погрешность учета количества нефтепродуктов на протяжении всего цикла "добыча-реализация" может составить приблизительно 2-3 %, что в целом по стране достигает около 30 млн. т. К этим потерям прибавляется также разность подходов Российской Федерации и западных стран к оценке результатов измерений [1 – 3]. В нашей стране применяется концепция погрешности измерений, в то время как на западе чаще пользуются неопределенностью измерений. Однако погрешность может использоваться только в тех случаях, когда имеется определенное значение величины, опираясь на которое можно вычислить погрешность. Если за опорную величину принимается истинное или действительное значение величины, то вычислить погрешность нельзя. Когда опорное значение величины является неизвестным, для оценки измеряемой величины целесообразно использовать неопределенность.

В оценке точности с точки зрения неопределенности отсутствует понятие действительного значения величины.

Причиной можно считать тот факт, что, хотя действительное значение измеряемой величины в некоторых случаях можно определить эксперимен-

тальным путем, степень его «близости» к истинному значению является неопределимой по указанной выше причине. Поэтому понятие «близость» является качественной, а не количественной оценкой, вследствие чего замена истинного значения действительным является сомнительным. В целом можно отметить, что в отличие от погрешности результата измерений, неопределенность измерений имеет вероятностный характер.

В настоящее время большинство СИ, применяемых на объектах и внесенных в Госреестр СИ, не имеет типовых МВИ, предназначенных для измерения массы СУГ. Исключением являются автомобильные весы [6], однако область их применения на АЗС ограничена приемом автоцистерн. При создании системы коммерческого учета, охватывающей все основные операции, обычно требуется использование нескольких типов СИ, а в ряде случаев и совместная обработка поступающих от них данных. При этом вероятность наличия аттестованных МВИ, подходящих к применению, весьма мала.

Также при организации коммерческого учета использование аттестованных и гостированных МВИ не только является прямым требованием Федерального Закона от 28.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [7], но и несет наибольшую функциональную нагрузку, регламентируя весь порядок решения измерительной задачи.

Специализированные МВИ для измерения массы СУГ на АЗС должны предоставлять решения проблем учета, связанных с особенностями физических свойств и процессов, с нормативной базой, с согласованием единиц измерения на разных стадиях учета, с оснащенностью объекта и несовершенством СИ.

При этом само решение измерительной задачи проходит метрологическую экспертизу, подтверждающую адекватность МВИ и соответствие погрешности учета указанным пределам. Благодаря МВИ, на объекте формируется единый рабочий цикл, включающий технологические операции, применение СИ, обработку данных и учетные операции.

При этом определяется структура информационных потоков и общий алгоритм работы системы коммерческого учета во взаимодействии с технологическим оборудованием объекта, системой мониторинга и управления. Так на основе МВИ формируется АСУ ТП объекта в целом.

В связи с перечисленным, данная работа посвящена методике выполнения измерений количества сжиженных углеводородных газов в единицах массы при приеме, хранении и отпуске через газораздаточные колонки на АЗС, с указанием норм погрешностей и неопределенностей измерений массы СУГ.

## Результаты исследований

Важнейшими составными частями МВИ являются методы и средства измерения, которые во многом определяют ее возможности и содержание.

Измерительное оборудование, применяемое на АЗС, реализует следующие основные методы измерения [9]:

- прямой метод статических измерений (взвешивание);
- прямой метод динамических измерений (применение массомера в трубопроводе);
- косвенный метод статических измерений (определение массы по результатам измерений параметров СУГ в резервуарах);
- косвенный метод динамических измерений (определение массы по измерениям объема и плотности в трубопроводе).

### Прямой метод статических измерений

Прямой метод статических измерений заключается в определении массы СУГ как разности взвешенных на весах заполненной и порожней тары. Метод применяется при приеме СУГ на АЗС, при этом на автомобильных весах измеряют массу автоцистерны, и при отпуске СУГ в бытовые газовые баллоны измеряют соответственно массу баллонов. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений массы СУГ на автомобильных весах равны:

$\Delta = \pm 30$  кг для цистерн вместимостью до 20 000 кг;

$\Delta = \pm 50$  кг для цистерн вместимостью свыше 20 000 кг;

для измерений массы на контрольных весах – для баллонов вместимостью:

1 л –  $\Delta = \pm 10$  г,

5 л и 12 л –  $\Delta = \pm 20$  г,

27 л и 50 л –  $\Delta = \pm 100$  г.

Автомобильные весы предназначены для взвешивания автотранспорта в статике. Весы контрольные – для взвешивания в статике газовых баллонов. В качестве измерительных элементов используются современные тензорезисторные датчики. Измерительные элементы преобразуют силу тяжести, действующую на грузоприемную платформу, в электрический сигнал. Относительная деформация упругого элемента влечет за собой изменение сигнала датчика. По изменению сопротивления тензорезистора можно вычислить степень деформации, которая будет пропорциональна силе, приложенной к конструкции. Обработка и индикация сигнала осуществляется весовым терминалом с отображением результата в дискретном цифровом виде. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений мас-

сы СУГ и расширенная неопределенность измерений массы СУГ для операции приема газов в конкретном случае будет равна

$$\delta = \pm 0,5\% \quad \text{и} \quad u = 5,4 \text{ кг} \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

соответственно.

Для операции отпуски газа в баллоны соответственно

$$\delta = \pm 0,4\% \quad \text{и} \quad u = 4,6 \text{ кг} \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$$

### Прямой метод динамических измерений

Этот метод динамических измерений заключается в определении массы СУГ массомером на основе измерений расхода СУГ. Данный метод применяется на операциях приема СУГ на АЗС и отпуски газа потребителям в бытовые и автомобильные баллоны. Пределы допускаемой относительной погрешности измерения массы жидкой и газообразной фазы СУГ массомером  $\delta = \pm 1\%$ . Массомер (счетчик массы) предназначен для измерения количества расходуемой массы газообразной или жидкой среды, в частности, природного газа. В систему массомера входят:

- кориолисовый преобразователь расхода (КПР),
- блок электроники (БЭ),
- ПЭВМ, пакет программ к ПЭВМ.

Управление работой массомера осуществляется с клавиатуры ПЭВМ, при этом на экране ПЭВМ отображаются: текущее состояние массомера, значение (текущее и конечное) измеряемой массы, и время, затраченное на измерение данного значения массы.

На АЗС массомер встраивается в автоматизированные системы измерения и дозирования расходуемой массы (в ГРК).

Кориолисовые расходомеры предназначены для прямого измерения массового расхода, плотности, температуры, вычисления объемного расхода жидкостей, газов и взвесей. Какого-либо дополнительного оборудования для измерения не требуется. Кориолисовый расходомер состоит из датчика расхода (сенсора) и преобразователя. Сенсор напрямую измеряет расход, плотность среды и температуру сенсорных трубок. При движении измеряемой среды через сенсор проявляется физическое явление, известное как эффект Кориолиса.

Сила Кориолиса и, следовательно, величина изгиба сенсорной трубки прямо пропорциональны массовому расходу жидкости. Детекторы измеряют фазовый сдвиг при движении противоположных сторон сенсорной трубки. Как результат изгиба сенсорных трубок генерируемые детекторами сигналы не совпадают по фазе, так как сигнал с входного детектора запаздывает по отношению к сигналу с выходного детектора.

Разница во времени между сигналами измеряется в микросекундах и прямо пропорциональна массовому расходу. Чем больше эта разница, тем больше массовый расход.

Пределы допускаемой относительной погрешности измерений массы СУГ и расширенная неопределенность измерений массы СУГ для операции приема газов в конкретном случае

$$\delta = \pm 1,4\% \quad \text{и} \quad u = 16,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

соответственно.

Для операции отпуски газа в баллоны –

$$\delta = \pm 1\% \quad \text{и} \quad u = 11,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

соответственно.

### Косвенный метод статических измерений

Этот метод измерений заключается в определении массы СУГ, находящихся в резервуарах, по результатам измерений следующих параметров:

- уровень СУГ определяют стационарными уровнемерами или другими средствами измерения уровня;

- плотность СУГ определяют стационарными средствами измерений плотности (термоденсиметром), или по компонентному составу, избыточному давлению и температуре СУГ с применением соответствующим расчетом;

- температуру СУГ определяют термометром, специально установленным (встроенным в резервуар), или с помощью стационарно установленного в мерах вместимости преобразователя температуры;

- объем СУГ определяют по градуировочной таблице меры вместимости с использованием результатов измерения уровня применяемыми СИ;

- избыточное давление СУГ определяют датчиком (манометром) или преобразователем давления.

Результаты измерений объема и плотности СУГ приводят к одинаковым значениям температуры, давления и процентного содержания пропана. Метод применяется при приеме и хранении СУГ на АЗС.

Уровень СУГ, хранящихся в резервуарах на автозаправочных станциях, измеряют с помощью радарного волноводного уровнемера. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня  $\Delta = \pm 5,0$  мм. Электромагнитный импульс распространяется по волноводу и отражается от поверхности жидкости, обладающей более высокими диэлектрическими свойствами, чем воздух или пар.

Волноводный радарный уровнемер может с успехом заменять буйковые уровнемеры. Основным доводом здесь является малое влияние налипания, что в случае буйков является очень критичным. Также следует указать отсутствие подвижных механических частей, высокую надежность, простоту в обслуживании, легкую поверку и т. д.

Температуру СУГ в резервуаре измеряют при помощи взрывозащитного преобразователя температуры.

Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры  $\Delta = \pm 2$  °С. Преобразователь температуры используется для непрерывного преобразования сигнала от датчика температуры в унифицированный сигнал тока или напряжения.

Плотность СУГ измеряют термоденсиметром с пределами допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности жидкой фазы СУГ

$$\Delta = \pm 1,0 \text{ кг/м}^3$$

и температуры

$$\Delta = \pm 1,0 \text{ °С.}$$

Давление в колбе измеряют с помощью манометра класса точности 1,5 с верхним пределом измерений давления

$$P_v = 2,50 \text{ МПа.}$$

При отсутствии СИ плотности указанный параметр определяется расчетным методом по значениям температуры, давления и компонентного состава.

Давление СУГ в резервуаре определяют при помощи преобразователя давления. Величина абсолютного давления преобразуется в унифицированный сигнал.

Пределы допускаемой относительной погрешности измерения давления жидкой фазы СУГ:

$$\delta = \pm 1,5 \%$$

Преобразователи давления измерительные предназначены для непрерывного преобразования значения измеряемого параметра, а также преобразования уровня в унифицированный токовый выходной сигнал и цифровой сигнал.

На основе показаний приведенных параметров система обработки информации вычисляет значение массы СУГ, находящихся в резервуаре.

Пределы допускаемой относительной погрешности измерений массы СУГ и расширенная неопределенность измерений массы СУГ для операции приема и хранения газов в случае измерения плотности СИ плотности будет равна

$$\delta = \pm 0,8\% \quad \text{и} \quad u = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

соответственно.

В случае вычисления плотности расчетным методом – соответственно

$$\delta = \pm 20,6\% \quad \text{и} \quad u = 6 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

### Косвенный метод статических измерений

Этот метод измерений заключается в определении массы СУГ как произведения результатов измерений объема и плотности СУГ, приведенной к

умовлянням вимірювання об'єму. Метод застосовується при прийомі та відпуску СУГ на АЗС. Об'єм рідкої фази СУГ визначають при заправці балонів і/або газобалонного автомобіля через газороздаточну колонку (ГРК) та при прийомі СУГ з допомогою вимірювачів об'єму поршневого або турбінного типу.

Межі допустимої відносної похибки вимірювань об'єму рідкої фази СУГ:

не більше  $\delta = 0,5\%$  для вимірювачів об'єму поршневого типу;

не більше  $\delta = \pm 1,0\%$  для вимірювачів об'єму турбінного типу.

Температуру та тиск при вимірюванні об'єму рідкої фази СУГ вимірюють з допомогою преобразовувачів температури та тиску.

Щільність та температуру рідкої фази СУГ вимірюють з допомогою термометра.

Вимірювачі об'єму поршневого типу (поршневі лічильники) мають велику пропускну здатність та значущим діапазоном вимірювань при порівняно невеликих габаритних розмірах.

До переваг можна також віднести:

відсутність потреби в електроенергії,

довговічність,

можливість контролю справності по перепаду тиску на лічильнику в час його роботи,

нечутливість до короткочасних перевищень навантажень.

Поршневі лічильники — камерні лічильники газу, в яких як елемент перетворення використовують восьмигранні поршні.

Межі допустимої відносної похибки вимірювань маси СУГ та розширена неопределенность вимірювань маси СУГ для операції прийому та зберігання газу в разі вимірювання щільності СИ щільності буде рівна:

$\delta = \pm 1,2\%$  та  $u = 12,2 \cdot 10^{-3}$  кг відповідно, для преобразовувачів турбінного типу;

$\delta = \pm 0,7\%$  та  $u = 7 \cdot 10^{-3}$  кг для преобразовувачів поршневого типу.

В разі вимірювання щільності розрахунковим методом:

$\delta = \pm 1,1\%$  та  $u = 11,2 \cdot 10^{-3}$  кг для преобразовувачів турбінного типу;

$\delta = \pm 0,6\%$  та  $u = 6,2 \cdot 10^{-3}$  кг для преобразовувачів поршневого типу.

## Вывод

Результати розрахунків по оцінці точності вимірювань на основі похибки та неопределенности вимірювань для різних періодів року (весенньо-літній та осінньо-зимній) показали, що використання неопределенности вимірювань оцінка маси СУГ не перевищує 1/3 того, що дають розрахунки на основі похибки результатів вимірювань.

## Список литературы

1. Методические рекомендации по разработке норм естественной убыли (утверждены приказом Минэкономразвития РФ от 31.03.2003 г. № 95).
2. Преображенский Н.И. Сжиженные углеводородные газы / Н.И. Преображенский. — Л.: Недра, 1975. — 279 с.
3. СНиП 23-01-99\*. Строительная климатология (с изменениями от 24.12.2002 г.).
4. Рид Р. Свойства газов и жидкостей / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд. — Л.: Химия, 1975. — 279 с.
5. СНиП 23-01-99\*. Строительная климатология (с изменениями от 24.12.2002 г.).
6. Рид Р. Свойства газов и жидкостей / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд. — Л.: Химия, 1982. — 592 с.
7. Яковлев Е.И. Газовые сети и газохранилища / Е.И. Яковлев. — М.: Недра, 1991. — 400 с.

Поступила в редколлегию 6.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

## МЕТОДИКА ВИМІРЮВАНЬ МАСИ ЗРІДЖЕНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПАЛИВ

Д.Д. Грибанов, О.Ф. Вячеславова, С.О. Зайцев

У статті запропонована методика виконання вимірювань кількості зріджених вуглеводневих газів в одиницях маси при прийомі, зберіганні і відпуску через газороздаточні колонки на автозаправних станціях, з вказівкою норм похибок і невизначеностей вимірювань маси зріджених вуглеводневих газів.

**Ключові слова:** невизначеність вимірювань, похибка вимірювань, зріджені вуглеводневі гази, кількісна оцінка.

## THE METHOD OF MEASURING MASS OF LIQUEFIED HYDROCARBON FUELS

D.D. Griбанov, O.F. Vyacheslavova, S.A. Zaitsev

Involves the application of the methodology of using parameters of measurement uncertainty, the effectiveness of the direction point to determine the amount of mass of liquefied hydrocarbon (LPG) fuels.

**Keywords:** measurements uncertainty, error of measurements, liquefied petroleum gas, quantitative assessment.