

УДК 681.586.621.37:543.275.1

# РАДИОЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА В АВТОЦИСТЕРНЕ ГАЗОВОЗА

**А.С. Совлуков**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

E-mail: [sovlas@ipu.ru](mailto:sovlas@ipu.ru)

**В.И. Терешин**

*ООО "Техносенсор"*

Россия, 196128, Санкт-Петербург, Благодатная ул., 2

E-mail: [technosensor@yandex.ru](mailto:technosensor@yandex.ru)

**Ключевые слова:** сжиженный углеводородный газ, масса, резервуар, газозов, измерение, датчик, радиочастотный

**Аннотация:** Рассматривается метод измерения массы сжиженных углеводородных газов при отпусках из газозовов в резервуары АГЗС и газгольдеры с учетом опыта внедрения на крупных объектах радиочастотной измерительной системы СУ-5Д-МАСС. Предлагается оптимизация измерительного комплекса, когда 1-2 газозова оснащены кориолисовым массомером и радиочастотным датчиком массы сжиженных углеводородных газов в резервуаре газозова, а все остальные газозовы – только таким датчиком массы. На основе данных, полученных по результатам эксплуатации, произведена оценка дополнительных погрешностей измерения массы сжиженного углеводородного газа, возникающих вследствие неровности площадки слива и других факторов. Предлагаются технические решения, обеспечивающие измерение массы сжиженного углеводородного газа, прошедшего через линию паровозврата. Предлагаются новые подходы к калибровке (градуировке) резервуаров газозовов и автомобильных газозаправочных станций с использованием сжиженного углеводородного газа в качестве рабочей среды.

## 1. 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. Для измерения массы СУГ в резервуарах наиболее часто используется косвенный метод статических измерений, при котором измеряется уровень и плотность, по градуировочной таблице вычисляется объем, масса определяется перемножением объема на плотность [1-3]. Для высокоточных измерений технологических параметров СУГ, содержащегося в резервуаре, разработаны радиочастотные метод и измерительные устройства [4, 5]. СУГ поступает с баз хранения (газонаполнительные станции

(ГНС) и склады производителей СУГ) в газовозы, которыми развозится по потребителям (автомобильные газозаправочные станции (АГЗС), газгольдеры автономного газоснабжения и групповые резервуарные установки). Газовоз развозит СУГ, как правило, по нескольким потребителям. Без учета СУГ на газовозе невозможно обеспечить его достоверный сквозной учет. Точная и достоверная информация о массе СУГ в газовозе, а также принятого в газовоз и отпущенного из него, позволяет организовать сквозной учет СУГ и исключить возможность несанкционированных сливов СУГ из газовоза.

Прямой метод статических измерений массы СУГ с применением радиочастотных датчиков реализован в измерительной системе СУ-5Д с датчиками ДЖС-7М, государственный реестр СИ № 54787–13 [4-7]. Выходной параметр датчика ДЖС-7М – общая масса СУГ, в том числе масса газообразной фазы.

## 2. Радиочастотный метод измерения массы СУГ. Радиочастотная измерительная система СУ-5Д-МАСС

Измерительные системы СУ-5Д [6], предназначены для коммерческого учета СУГ в газовозах и для учета СУГ на АГЗС и ГНС. Информация от всех объектов в режиме реального времени поступает на сервер, формируются архивы и отчеты. Это позволяет организовать автоматизированный сквозной учет СУГ – масса СУГ, отпущенного с ГНС, должна совпадать с массой СУГ, залитого в газовоз, а масса СУГ, принятого на АГЗС, должна совпадать с массой СУГ, слитого из газовоза.



Рис. 1. Структурная схема измерительной системы.

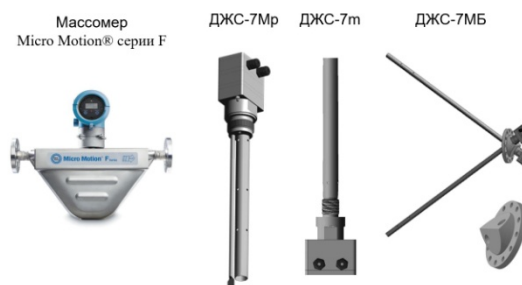


Рис. 2. Датчики.

Система измерительная СУ-5Д-МАСС (SU-5D-MASS) предназначена для измерения массы различных жидких сред и газовых конденсатов в условиях их хранения в резервуарах и перекачки по трубопроводам (рис. 1). Система может комплектоваться датчиками двух типов: датчики массы ДЖС-7Мр, ДЖС-7m или ДЖС-7МБ в резервуарах; погрешность измерения общей массы СУГ в резервуаре не более  $\pm 0,65\%$ ; массомеры Micro Motion® F100S или F200S на трубопроводах; погрешность измерения массы отпущенного по трубопроводу СУГ не более  $\pm 0,25\%$ .

Датчики (рис. 2) в резервуаре могут устанавливаться на нижний лючок Ду50, на верхний лючок Ду50, а также на боковой или торцевой лючок Ду150. Датчики на резервуаре газовоза могут устанавливаться на нижний, верхний, боковой или торцевой лючок. На нижний лючок рекомендуется устанавливать датчик ДЖС-7m. Если имеется верхний лючок, то можно устанавливать датчики ДЖС-7m или ДЖС-7Мр. На боковой или торцевой лючок с проходным отверстием 150 мм устанавливается датчик ДЖС-7Б.

Системные блоки СБ-5 или СБ-7 имеют пылевлагозащищенное исполнение и могут эксплуатироваться на улице. В них размещаются блок искрозащиты ИЗК-3, GSM-

модем, сигнальные лампочки, клеммники, источники питания. Блок СБ-7 имеет исполнение IP65. Антенна GSM-модема размещается внутри блока.

### 3. Размещение оборудования на газовозе

На рис. 3 показано размещение оборудования на газовозе. Системный блок СБ-5 или СБ-7 размещается в зоне 2 в любом удобном месте (на раме полуприцепа или на задней стенке кабины). Массомеры Micro Motion® размещаются в зоне 1 в ящике с оборудованием на трубопроводах жидкой и паровой фазы СУГ. Датчик массы СУГ в резервуаре ДЖС-7М или ДЖС-7m устанавливается на нижний или верхний лючок Ду50 или Ду80. На многих газовозах нет нижнего или верхнего лючка, но имеется боковой или торцевой лючок Ду150 для механического стрелочного уровнемера. В этом случае устанавливается датчик ДЖС-7Б. Узел слива СУГ содержит обычно фильтр с газоотделителем, массомер и дифференциальный клапан. Узел слива содержит кориолисовый массомер, радиочастотный датчик кипения ДЖС-7ПТД и шаровой кран с электроприводом, управляемым от контроллера. За счет отсутствия газоотделителя и дифференциального клапана повышается надежность (нет механических деталей) и увеличивается скорость слива (обеспечивается работа с меньшим перепадом давления). Отпуск заданного количества СУГ обеспечивает контроллер блока СБ-7, который обрабатывает информацию от массомера и управляет электроприводом шарового крана. Датчик ДЖС-7ПТД измеряет плотность, давление и температуру СУГ в трубопроводе и позволяет обеспечить режимы слива, при которых кипение гарантированно отсутствует. Если в трубопроводе имеются несконденсированные пары, этот датчик покажет наличие кипения, и шаровой кран не откроется. В этом случае пары необходимо сбросить на свечу или в резервуар газовоза, после этого сразу начнется слив.

При сливе СУГ через массомер может потребоваться перепуск паровой фазы СУГ [7]. Для этого производится остановка слива – перекрытие трубопровода жидкой фазы СУГ. Затем открывают линию паровозврата и после уравнивания давлений закрывают ее снова. Длительность остановки составляет не более 10 мин. Датчик массы СУГ в резервуаре газовоза позволяет измерить массу перепущенного пара с высокой точностью.

Неизмеряемый остаток – это объем СУГ, который находится ниже рабочей зоны датчика. Например, нижний конец датчика находится на расстоянии 70 мм от дна резервуара. Для автоцистерны 36 куб. м этому уровню соответствует объем 470 л и масса СУГ около 240 кг. При сливе СУГ ниже этого уровня показания датчика останутся неизменными – уровень 70 мм и масса жидкости около 240 кг, возникнет большая погрешность измерений массы СУГ. Масса паровой фазы СУГ в этих условиях зависит от температуры и состава СУГ и находится в пределах от 70 до 600 кг. Для обеспечения точных показаний сливать СУГ до уровня неизмеряемого остатка не рекомендуется.

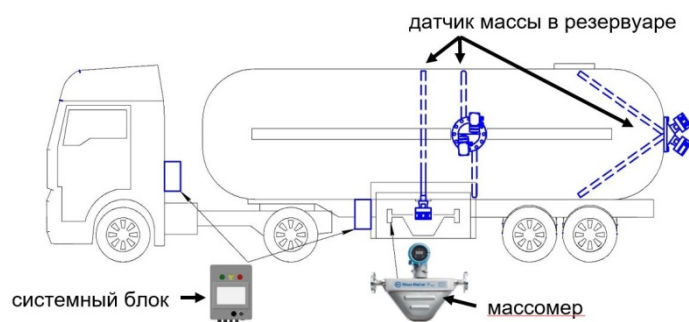
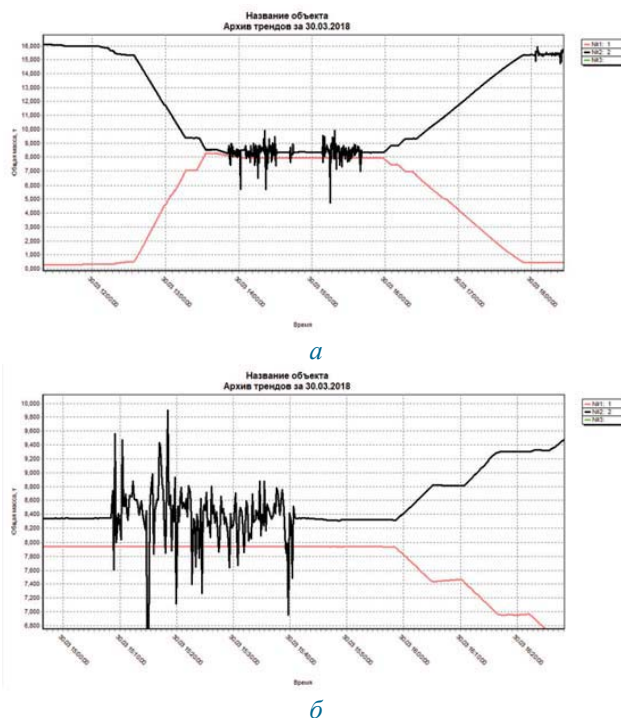


Рис. 3. Размещение оборудования на газовозе.

### 3.1. Отображение информации на сервере и на ПЭВМ на АГЗС

На сервере в режиме реального времени собирается информация от датчиков в резервуарах газовозов и АГЗС. На графиках (рис. 4) канал 1 (светлый) – масса СУГ на АГЗС. Канал 2 (черный) – масса СУГ в резервуаре газовоза. Выполнялась калибровка датчика ДЖС-7Б в резервуаре АГЗС по датчику ДЖС-7Б в резервуаре газовоза с дополнительным контролем по весам. Газовоз был заполнен СУГ и взвешен. В дегазированную емкость на АГЗС был выполнен слив 7900 кг СУГ. Потом газовоз поехал на весы, вернулся обратно, СУГ из резервуара АГЗС был перекачан обратно в газовоз, газовоз был взвешен еще раз.



**Рис. 4.** Отображение информации от датчика в резервуарах газовоза и АГЗС на сервере и на ПЭВМ на АГЗС в режиме реального времени. Зависимость общей массы (т) от времени (число, время суток): *а* – результаты измерений за 5 часов, с 11:30 до 18:30; *б* – то же самое в увеличенном масштабе, результаты измерений за 1,5 часа с 14:50 до 16:20; первый канал (красный) – масса СУГ в резервуаре АГЗС; второй канал (черный) – масса СУГ в резервуаре газовоза.

### 3.2. Влияние наклона автоцистерны

При неровностях площадки возникают наклоны автоцистерны. При этом изменяется уровень жидкости и возникают дополнительные погрешности измерений. Фактически становится некорректной градуировочная таблица. Наклон может изменяться также при смене тягача, при замене колес, при неисправностях подвески. Для вертикально установленного датчика при небольших наклонах эти погрешности незначительны, и в большинстве случаев ими можно пренебречь. Максимальные погрешности возникают при минимальном заполнении (жидкость может перетекать в ту часть цистерны, где нет датчика, при этом возникает занижение показаний) и при максимальном заполнении (завышение показаний). Для датчика с боковой или торцевой установкой погрешности от наклона намного выше и могут достигать 1-2 %. Их влияние можно уменьшить в несколько раз, если снимать показания при нахождении газовоза в определенном месте, на ГНС – только в пункте заполнения газовоза.

## 4. Калибровка и поверка датчика в резервуаре

Необходимое условие для точных измерений – корректная градуировочная таблица резервуара [7]. Калибровка датчика ДЖС-7М, ДЖС-7м или ДЖС-7МБ вместе с резервуаром, в котором он установлен, выполняется с помощью кориолисового массомера на газовой газовой. Производится слив СУГ (если калибруется резервуар на газовой газовой с массомером) или заполнение (если калибруется резервуар на другом газовой газовой или на АГЗС) резервуара через массомер. Калибровка производится при небольшой скорости перекачки СУГ без остановок. На сервер одновременно поступают результаты измерений с массомера и с датчика в резервуаре. При совместной обработке этих данных получаем новую градуировочную таблицу, которая записывается в блок искрозащиты ИЗК-3. Поверка датчика в резервуаре выполняется аналогично градуировке, только выполняются остановки перекачки в поверяемых точках. Преимущества такого способа: не требуется дегазация резервуаров и вывод их из эксплуатации; калибровка и поверка проводятся в обычном режиме работы оборудования и не требуют много времени; присутствие поверителя на объекте во время поверки не требуется, потому что данные с массомера и с датчика в резервуаре в режиме реального времени поступают на сервер; программное приложение для сервера позволит автоматически формировать отчеты по результатам поверки; учитывается наклон цистерны газовой газовой; учитывается фактическая привязка датчика к геометрии резервуара. Поверка датчика в резервуаре газовой газовой может быть выполнена с помощью весов [7]. Для этого газовой газовой с поверяемым датчиком устанавливается на весы. Другой газовой газовой (заполненный СУГ) необходимо подогнать, поставить рядом и соединить с газовой газовой на весах шлангами по жидкой и паровой фазе СУГ. Один из газовой газовой должен быть оборудован насосом. Производится перекачка СУГ и снятие показаний весов и датчика в резервуаре газовой газовой. Перед поверкой должна быть произведена калибровка датчика в резервуаре газовой газовой с помощью массомера.

## 5. Заключение

Рассмотренный метод обеспечивает следующие преимущества: высокую точность измерения массы СУГ в резервуаре газовой газовой статическим методом за счет калибровки датчика по массомеру; двойной контроль – учет СУГ динамическим методом (счетчик на трубопроводе) и статическим методом (датчик ДЖС-7Мр, или ДЖС-7м, или ДЖС-7МБ в резервуаре газовой газовой), что позволяет полностью исключить возможность несанкционированных отпусков СУГ; в режиме реального времени контроль массы СУГ в одном окне программы по датчику на газовой газовой и по датчику на АГЗС, формирование отчетов; возможность калибровки датчика в резервуаре АГЗС при сливе СУГ через массомер; учет перепущенного пара; возможность установки датчика на нижний, верхний, боковой или торцевой лючок; удобное отображение информации.

## Список литературы

1. Гаузнер С.И., Кивилис С.С., Осокина А.П., Павловский А.Н. Измерение массы, объема и плотности. М.: Изд-во стандартов, 1982. 528 с.
2. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы. М.: Нефть и газ, 2009. 640 с.

3. Зоря Е.И., Яковлев А.Л., Ларионов С.В. Определение массы сжиженных углеводородных газов при приеме, хранении и отпуске потребителям. М.: Недра, 2012. 197 с.
4. Sovlukov A.S., Tereshin V.I. Measurement of liquefied petroleum gas quantity in a tank by radio-frequency techniques// IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2004. Vol. 53, No. 4. P. 1255-1261.
5. Совлуков А.С., Терешин В.И. Радиочастотные измерения массы сжиженного углеводородного газа в резервуаре // Датчики и системы. 2012. № 12. С. 41-45.
6. Сайт ООО «Техносенсор»: <http://www.tsensor.ru>
7. Терешин В.И., Совлуков А.С. Коммерческий учет сжиженных углеводородных газов в газовазах с измерением массы пара, прошедшего через линию паровозврата// Объединенная конференция: XII Международная конференция «НЕФТЕГАЗСТАНДАРТ – 2017» и V-я Международная метрологическая конф. «Актуальные вопросы метрологического обеспечения измерений расхода и количества жидкостей и газов». Труды конф. Казань, 6-7 сентября 2017. Казань: Мир без границ, 2017. С. 172-175.