

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ УЧЕТА СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА НА ГАЗОНАПОЛНИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ

Алексей Зивенко, Евгений Гудыма

ACCURACY IMPROVEMENT OF AN LPG INVENTORY SYSTEM

Oleksii Zivenko, Ievgen Gudyma

Abstract. The influence of the level measurement error on the total LPG tank inventory error is studied. This paper provides short description of the most common level sensing techniques for LPG and GWR technique is concluded as the best solution. It is shown that GWR sensors are sensitive to the properties of the LPG vapor phase. Based on experimental data about dielectric properties of the LPG vapor phase the level measurements correction technique developed. The results of practical application of developed technique show that the level measurement error caused by the change of the vapor phase properties can be reduced almost 3 times.

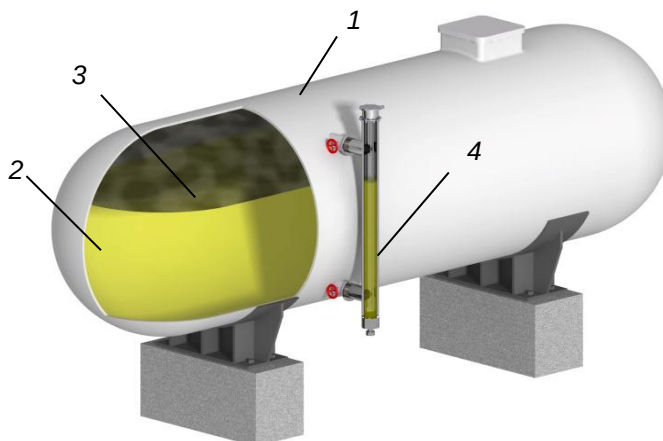
Keywords: liquid petroleum gas, LPG level, gas mass, LPG inventory systems, level sensor for lpg.

1. Введение:

В течение последних лет в мире продолжается рост потребления сжиженного углеводородного газа (СУГ). Рост потребления связан с удобством использования СУГ в быту и промышленности, высокой экономической эффективностью его применения в качестве топлива и хорошими показателями его экологичности [1-3]. Вместе с тем, специфика СУГ как продукта определяет требования как к методикам выполнения измерений, так и к средствам измерительной техники [4-5]. Для обеспечения автоматизации технологических операций приема/отпуска продукта, обеспечения безопасного хранения требуется производить контроль некоторого множества технологических параметров на газонаполнительных станциях: непрерывный контроль уровня СУГ в емкостях хранения, контроль предельных уровней заполнения, измерений температуры жидкой и паровой фаз СУГ, давления в емкостях и трубопроводах и т.п. При этом, одну из основных проблем представляет собой построение подсистем точного и надежного измерения параметров уровня (объема СУГ) и плотности СУГ (как составных частей систем технологического и коммерческого учета).

2. Изложение:

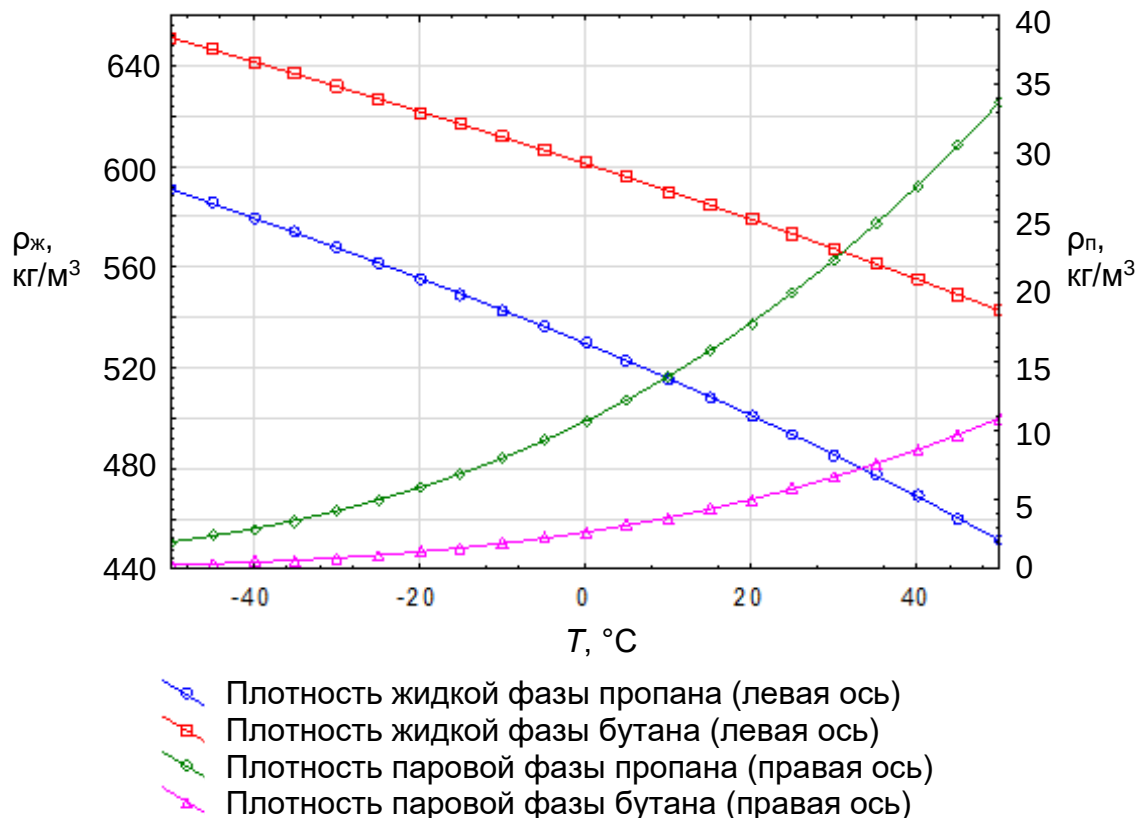
Основной вклад в погрешность измерений массы СУГ косвенным методом статических измерений вносят погрешности градуировочных таблиц резервуаров, измерителей плотности и уровня СУГ. В данной публикации внимание уделено влиянию измерителя уровня СУГ на погрешность учета и разработке метода повышения точности измерения уровня. На фиг.1 изображена типичная емкость хранения СУГ (1), в которой находятся жидкая (2) и паровая (3) фазы СУГ. Для удобства эксплуатации емкость оборудована выносной камерой, в которую устанавливается уровнемер (4).



Фиг.1. Емкость для хранения сжиженного углеводородного газа с выносной трубой для подключения контрольно-измерительной аппаратуры

В качестве уровнемеров для СУГ применяют датчики различных типов [5]. Широкое распространение в последние годы получили рефлектметрические (GWR), ультразвуковые, магнитострикционные, емкостные и радарные датчики уровня СУГ. Эксплуатационными преимуществами рефлектметрических датчиков по сравнению с другими являются: простота и отсутствие подвижных частей; возможность одновременного измерения уровня жидкой фазы СУГ и уровня подтоварной воды; возможность выполнения датчика в одном корпусе с температурной подвеской для контроля градиента температуры фаз продукта [6]; незначительная зависимость результата измерения от параметров жидкой фазы. На базе рефлектметрических уровнемеров строят полиметрические датчики (системы), предназначенные для формирования информативного измерительного сигнала и эффективного использования получаемой информации для контроля совокупности измеряемых величин [6-8].

СУГ как объект контроля обладает рядом ярко выраженных свойств, влияющих на методику выполнения измерения массы продукта. Упрощенно, СУГ в резервуаре представляет собой двухфазную систему «жидкость-пар». Изменение температуры, давления, состава или количества СУГ в системе сопровождается перераспределением СУГ между жидкой и паровой фазами (и наоборот). Вода растворяется как в жидкой, так и паровой фазе СУГ. При этом вода конденсируется при понижении температуры и скапливается у дна резервуара. Кроме того, наличие воды в СУГ может привести к ее замерзанию и образованию кристаллогидратов. В свою очередь, это может нарушать работоспособность датчиков (особенно содержащих подвижные части), технологического оборудования. При наличии воды в СУГ (неблагоприятная ситуация) в резервуаре фактически находится уже 3 слоя продукта – паровая фаза СУГ, жидкая фаза СУГ и подтоварная вода. Таким образом, постоянные фазовые переходы жидкой и паровой фаз обуславливают значительные изменения уровня в резервуарах и необходимость непрерывного контроля уровня, температуры и давления. Плотность СУГ значительно и нелинейно зависит от температуры и состава – фиг. 2;



Фиг. 2. Графики зависимостей плотности паровой и жидкой фаз пропана и бутана от температуры

Такие изменения плотности жидкой фазы СУГ существенно влияют на поплавковые датчики уровня – изменяется глубина погружения поплавка в жидкую фазу. В то же время, паровая фаза СУГ значительно влияет на датчики, в которых одним из опорных параметров определения уровня является скорость распространения электромагнитных или акустических волн. В данной публикации освещаются результаты лабораторных и полевых экспериментальных исследований, проведенных автором на нескольких ГНС с установленными системами серии «САДКО». Принцип измерения уровня в системе «САДКО» заключается в измерении времени прохождения электромагнитного импульса по волноводу, частично погруженному в контролируемую среду. Короткий электромагнитный импульс (длительность около 1 нс) излучается в волновод – измерительную линию специальной конструкции. Распространяясь вдоль волновода импульс многократно отражается от неоднородностей волнового сопротивления. Неоднородностями волнового сопротивления являются границы раздела фаз – «жидкость-пар», жидкости различной плотности, а также специально созданные изменения конструктива линии. Специально созданные неоднородности волнового сопротивления служат для создания опорных (реперных) точек сигнала с целью последующей диагностики или коррекции показаний датчиков.

Оценка расстояния до границы раздела сред «пар-жидкость» (ГРС) L_0 производится по измеренному значению времени t_0 между зондирующим и отраженным от ГРС импульсами сигнала. Упрощенно, данная зависимость может быть выражена следующим образом:

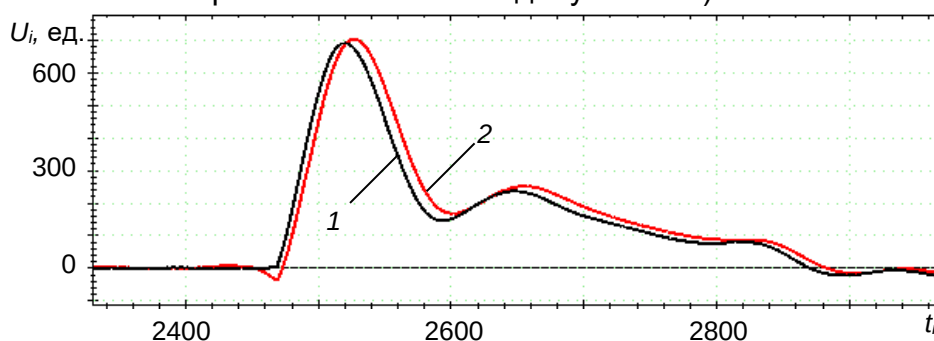
$$L_0 = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon_0}} t_0,$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость паровой фазы (слоя, через который распространяется электромагнитный импульс); c – скорость света в вакууме, м/с.

По фиг. 2 видно, что плотность паровой фазы пропана и бутана существенно зависит от температуры. В то же время известно, что существует взаимосвязь между диэлектрической проницаемостью газа и его плотностью [9]. Следовательно, при изменении диэлектрической проницаемости паровой фазы ε_0 может возникать дополнительная погрешность измерения расстояния L_0 (уровня).

Для оценки величины дополнительной погрешности были использованы справочные данные о диэлектрической проницаемости паров компонентов СУГ, проведен ряд практических экспериментов, описание и анализ результатов которых приведены ниже.

Датчики уровня размещались в резервуарах, в которых предварительно была проведена дегазация. Резервуары заполняли СУГ (газы с известным составом) так, чтобы датчики уровня не погружались в жидкую фазу СУГ, а воспринимали только паровую фазу. При этом непрерывно контролировались температура паровой фазы и давление в резервуаре, записывались сигналы с датчиков (см. фиг.3), состав газа контролировался по паспорту (смещение газов разных составов не допускалось).



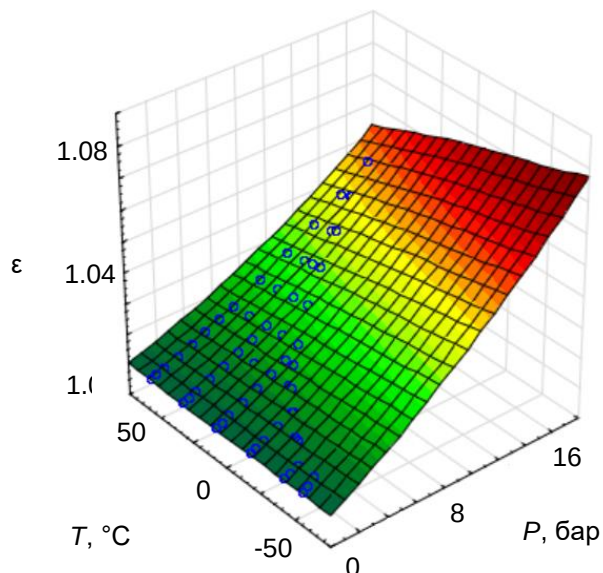
1 – датчик в воздухе ($P = P_{\text{атм}}$, $T = 23^\circ\text{C}$); 2 – датчик в паровой фазе пропана ($P = 4$ бар, $T = 7^\circ\text{C}$).

Фиг. 3. Фрагмент рефлектограммы, иллюстрирующий сдвиг импульса отраженного от конца датчика в паровой фазе СУГ

Таким образом был получен массив данных, содержащих сигналы датчиков в привязке к условиям – давлению в емкости, температуре и составу СУГ.

Полученные в ходе экспериментов данные о диэлектрической проницаемости паровой фазы СУГ совместно со справочными данными позволили построить простой алгоритм коррекции показаний уровнемеров на основе данных о давлении и температуре паровой фазы СУГ. Суть алгоритма сводится к вычислению поправок к показаниям уровнемера в зависимости от текущих значений давления, температуры и состава паровой фазы.

На фиг. 4 показаны значения диэлектрической проницаемости газообразного пропана.



Фиг. 4. График зависимости диэлектрической проницаемости газообразного пропана от давления и температуры

В таблице 1 показаны результаты расчета удельных поправок ΔL_0 (мм/м) для учета влияния изменения свойств чистого пропана.

Таблица 1. Результаты расчета поправок ΔL_0 (мм/м) для давления P и температуры T

T, °C	P, бар			
	0	4	8	12
-20	0.12	-	-	-
-10	0.11	-	-	-
0	0.10	-4.73	-	-
10	0.08	-4.55	-	-
20	0.04	-4.39	-	-
30	0.00	-4.23	-9.19	-
40	-0.05	-4.09	-8.85	-14.32

Данные, приведенные в табл. 1, демонстрируют прогнозируемый результат и хорошо согласуются с данными полученными на практике. Аналогичный анализ экспериментальных и справочных данных был проведен для бутана и других компонентов СУГ. Максимальная погрешность при измерении уровня СУГ наблюдается при максимальном давлении и температуре – когда паровая фаза обладает наибольшей плотностью, а ее диэлектрическая проницаемость максимальна. Коррекция показания уровнемеров приводит к значительному снижению общей погрешности оценки массы СУГ в резервуаре. Так, при заполнении резервуара 10% по объему (когда влияние паровой фазы максимально), указанный алгоритм позволяет снизить относительную ошибку оценки массы СУГ в 2.9 раза. Это происходит по причине наибольшего вклада

погрешности измерителя уровня в погрешность измерения массы СУГ при низких уровнях заполнения резервуара. В то же время, при высоких уровнях заполнения (85%), эффект от введения коррекции значительно снижается. Так, относительная ошибка оценки массы снижается всего на 0.04%.

Важно отметить, что численные значения поправок для измерителей уровня практически для всех газов незначительно зависят от температуры. Таким образом, коррекция может производиться только по значению давления паровой фазы.

3. Заключение:

На базе полученных экспериментальных данных о паровой фазе СУГ разработан алгоритм коррекции показаний рефлектметрических уровнемеров. Разработанный алгоритм позволяет значительно снизить погрешность оценки уровня СУГ (а также расчета массы) в емкости за счет учета влияния паровой фазы на скорость распространения электромагнитных волн. Предложенное решение опробовано на практике и применяется в системе автоматизированного дистанционного контроля параметров СУГ „САДКО-ГНС“ производства группы компаний „АМИКО“ (г. Николаев, Украина). Важно отметить, что алгоритм может быть использован для коррекции результатов измерения любых уровнемеров, основанных на использовании данных о скорости распространения волн в среде (как электромагнитных так и акустических). Дальнейшее повышение точности может производиться путем учета состава жидкой и паровой фазы, а также учета динамики параметров СУГ.

Литература:

1. Sukant, Kumar (2015) *Technologies That Can Change The Future of Shipbuilding*. Marineinsight [WWW link] <http://www.marineinsight.com/future-shipping/shipbuilding-technologies/>;
2. World LPG Association. *Annual Report* (2016). [WWW link] <https://www.wlpga.org/wp-content/uploads/2016/12/WLPGA-Annual-Report-2016.pdf>
3. *Statistical Review of Global LPG* (2016). [WWW link] <https://www.argusmedia.com/~media/files/pdfs/white-paper/statistical-review-of-global-lpg-2016.pdf?la=en>
4. Lakeev, Andrey (2013). *The commercial accounting of SUG with a rated error*. Autogasfilling complex & alternative fuels, issue 3 (72), Innovative Mechanical Engineering Publishing, Moscow, pp. 27-34.
5. Zivenko, Oleksii (2013). *Level measurement principes & sensors* / A.V. Zivenko, A.G. Nakonechniy, D.Y. Motorkin // Materialy IX mezinarodni vedecko-practicka conference "Veda a technologie: krok do budoucnosti - 2013". – Dil. 28. Technicke vedy. Prague - 2013. pp. 85-90.
6. Zhukov, Yuriy (2012). *Polymetric systems. Theory & Practice* / Yu. Zhukov, B. Gordeev, A. Zivenko, A. Greshnov, O. Zimina, V. Chagrinets, E. Prishchepov / Nikolaev, Atoll Publising, 2012. – 382 p.
7. Zhukov, Yuriy (2015). *Polymetric Sensing in intelligent Systems* / Yu. Zhukov, B. Gordeev, A. Zivenko and A. Nakonechniy / Chapter 10, "Advances in Intelligent Robotics and Collaborative Automation", The River Publishers Series in Automation, Control and Robotics, 2015 - pp.211-234.
8. Zivenko, Oleksii (2015). *Sravnenie informacionnoi effektivnosti polymetriceskikh I tradicionnykh izmeritelno-vichislitelnykh kompleksov*. Zbirnik naukovykh prac NUK №3 (459). Nikolaev : NUK, 2015. pp. 72-79.
9. Valiskó M., Boda D. (2009). *Correction to the Clausius—Mossotti equation: The dielectric constant of nonpolar fluids from Monte Carlo simulations*. The Journal of Chemical Physics (vol. 131, № 16). — P. 164120—164123.

За контакти:

Associate prof. PhD Oleksii Zivenko, National University of Shipbuilding, "Marine Instrumentation Department", Lenina 3, Nikolaev, Ukraine, tel. +380512 47-92-50, e-mail: av@zivenko.com.ua

Postgraduate Ievgen Gudyma, National University of Shipbuilding, "Marine Instrumentation Department", Lenina 3, Nikolaev, Ukraine, tel. +380512 47-92-50, e-mail: eugenegudima@gmail.com