

Литература

1. **Михеев Н. Н., Степович М. А., Широкова Е. В.** Функция распределения по глубине рентгеновского характеристического излучения при локальном электронно-зондовом анализе // Изв. РАН. Сер. физическая. 2010. Т. 74. № 7. С. 1043—1049.
2. **Лаврентьев Ю. Г., Королюк В. Н., Усова Л. В.** Второе поколение методов коррекции в рентгеноспектральном микроанализе: аппроксимационные модели функции распределения излучения по глубине // Журнал аналитической химии. 2004. Т. 59. № 7. С. 678—696.
3. **Михеев Н. Н., Степович М. А., Широкова Е. В.** Учет матричных эффектов при локальном электронно-зондовом анализе с использованием новой модели функции распределения по глубине рентгеновского характеристического излучения // Изв. РАН. Сер. физическая. 2012. Т. 76. № 9. С. 1086—1089.
4. **Castaing R., Henoc J.** Répartition en profondeur du rayonnement caractéristique // Proc. IV Congr. Int. Opt. Rayons X, Microanalyse. Paris, 1966. P. 120—126.
5. **Green M.** The Efficiency of Production of Characteristic X-Radiation: PhD Thesis. University of Cambridge, 1962.
6. **Phillibert J.** A method for calculation the absorption correction in electron probe microanalysis // Proc. 3rd Int. conf. X-ray Optics and Microanalysis / Ed. H. H. Pattee e. a. N. Y.: Academic, 1963. P. 379—392.
7. **Основы** рентгеноспектрального локального анализа / Пер. с англ., под ред. И. Б. Боровского. М.: Наука, 1973.
8. **Михеев Н. Н., Петров В. И., Степович М. А.** Количественный анализ материалов полупроводниковой оптоэлектроники методами растровой электронной микроскопии // Изв. АН СССР. Сер. физическая. 1991. Т. 55. № 8. С. 1474—1482.
9. **Дарьян Ж., Кастен Р.** Экспериментальное определение поправки на обратное рассеяние электронов // Основы рентгеноспектрального локального анализа / Пер. с англ., под ред. И. Б. Боровского. М.: Наука, 1973. С. 101—108.
10. **Castaing R.** Electron probe Microanalysis // Adv. Electronics, Electron Phys. 1960. V. 13. P. 317—386.
11. **Green M.** The Target Absorption, Correction in X-Ray Microanalysis // Proc. 3rd Int. conf. X-ray Optics and Microanalysis / Ed. H. H. Pattee e. a. N. Y.: Academic, 1963. P. 361—378.
12. **Михеев Н. Н., Степович М. А., Широкова Е. В.** Распределение средних потерь энергии пучка электронов по глубине образца: применение в задачах количественного рентгеноспектрального микроанализа // Тез. докл. XXIV Рос. конф. по электронной микроскопии. Черногловка: ИПТМ РАН, 2012. С. 289.
13. **Электронно-зондовый микроанализ** / Пер. с англ., под ред. И. Б. Боровского. М.: Мир, 1974.
14. **Green M., Cosslett V. E.** The efficiency of product of characteristic x-radiation in thick targets of pure elements // Proc. Roy. Soc. 1961. V. 78. P. 1206.
15. **Green M., Cosslett V. E.** Measurements of K, L and M shell X-ray production efficiencies // J. Phys. D. 1968. V. 1. P. 425—436.
16. **Zeibold T. O.** Ternary Diffusion in Copper-Silver-Gold Alloy: PhD Thesis. Massachusetts Institute of Technology, 1965.
17. **Пул Д.** Прогресс в определении поправки на эффект атомного номера // Основы рентгеноспектрального локального анализа / Пер. с англ., под ред. И. Б. Боровского. М.: Наука, 1973. С. 28—68.

Дата принятия 19.11.2012 г.

608.4:622.276.346.2

Измерения попутного нефтяного газа бессепарационным методом

В. И. ДРОНОВ*, Ю. А. КУДЕЯРОВ, В. А. РУДЕНКО*****

*Флоу-Тэк, Энгельс, Россия

**Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы, Москва, Россия, e-mail: kudeyarov@vniims.ru

***Саратовнефтегаз, Саратов, Россия

Описана экспериментальная установка и приведены результаты исследований нового способа измерений попутного нефтяного газа без предварительной сепарации жидкостно-газовой смеси. Показана перспективность предложенного метода для решения проблемы учета попутного нефтяного газа.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, экспериментальная установка, расходомеры, бессепарационный метод.

The experimental installation and the results of study of the new method of measurements of the casing-head gas without preliminary separation of gas-liquid mixture are described. The availability of this method for the calculation of casing-head gas problem solution is shown.

Key words: casing-head gas, experimental installation, flow meters, cageless method.

По общим данным в России ежегодно добывается около 60 млрд. м³ попутного нефтяного газа. Приведенное значение является расчетно-теоретическим, поскольку по состоянию на сегодняшний день около 30 % факельных устано-

вок не имеет средств инструментального учета, а сам учет попутного нефтяного газа из скважины не является приоритетной задачей для предприятий нефтегазового комплекса, хотя обязателен согласно требованиям стандарта [1].

Для измерений попутного нефтяного газа предлагаются приборы, основанные на различных физических принципах, и каждый производитель заявляет об успешном опыте их применения. Однако массовое появление газовых расходомеров, вызванное актуальностью задачи учета попутного нефтяного газа на факельных установках, предполагает их применение для измерений объема газа, предварительно отделенного (как правило, сепарационным методом) от жидкости, попутно с которой он извлекается из недр. Другими словами, измеряется газовая среда без жидкости и механических примесей. Традиционным представителем такой измерительной системы для всех нефтяных предприятий является автоматическая групповая замерная установка (АГЗУ), применяемая для измерений дебита нефтяных скважин, которая при помощи встроенного сепаратора позволяет разделить общий поток продукции из скважины на газовый и жидкостный, после чего измерять отдельно каждый поток по своей линии.

Однако для многих предприятий представляет интерес нерешенная в настоящее время задача измерений объема и массы попутного нефтяного газа из скважины без использования предварительной сепарации общего потока смеси. Решение этой задачи позволит значительно сократить затраты на строительство АГЗУ, измерять объем и массу газа с приемлемой точностью на индивидуальных, а не на кустовых скважинах, и, как следствие, усовершенствовать подсчет материального баланса продукции всего предприятия.

Ниже приведено описание установки, позволяющей проводить измерения нефтегазовой смеси без предварительной сепарации с получением отдельных данных по расходу газа и жидкости. Представлены также экспериментальные результаты, полученные на установке, подтверждающие

заложенные в ней возможности и позволяющие определить ее метрологические характеристики.

Эксперимент основан на измерении расходов компонентов двухфазной среды с применением двух последовательно установленных расходомеров, измеряющих различные величины [2]. На основе показаний этих расходомеров можно рассчитать расходы отдельных фаз в смеси. Так, для газожидкостных смесей предлагается последовательно установить приборы, из которых один измеряет массовый Q_m , а другой объемный Q_v расходы.

Из равенств $Q_m = Q_{m,ж} + Q_{m,г}$, $Q_v = Q_{m,ж} / \rho_{ж} + Q_{m,г} / \rho_{г}$, где $Q_{m,ж}$, $Q_{m,г}$ — искомые массовые расходы жидкости и газа; $\rho_{ж}$, $\rho_{г}$ — плотности жидкой и газовой фаз, после математических преобразований имеем

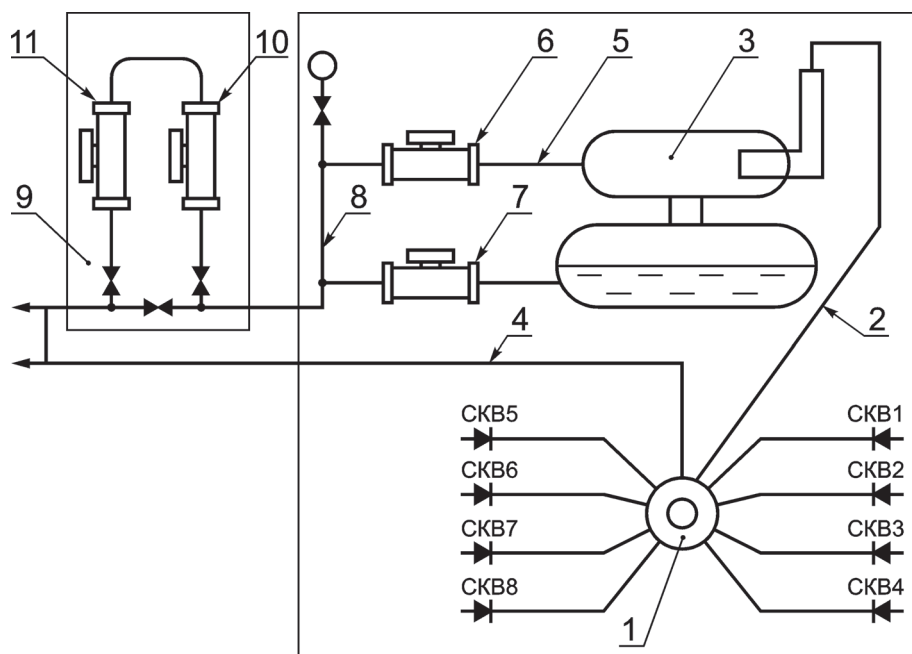
$$Q_{m,ж} = \rho_{ж} (Q_m - Q_v \rho_{г}) / (\rho_{ж} - \rho_{г}); \quad (1)$$

$$Q_{m,г} = \rho_{г} (Q_v \rho_{ж} - Q_m) / (\rho_{ж} - \rho_{г}). \quad (2)$$

Эти уравнения и служат для определения $Q_{m,ж}$ и $Q_{m,г}$ попутного газа на основании показаний расходомеров Q_m и Q_v .

Для эксперимента была выбрана АГЗУ, оснащенная встроенными счетчиком жидкости марки ТОР (погрешность измерения объема жидкости $\pm 6\%$) и газовым расходомером марки СВГ.М (погрешность измерения расхода $\pm 2,5\%$), и дополнена экспериментальной установкой с последовательно установленными расходомерами для измерений объема марки ИРВИС (основная относительная погрешность измерения объема газа, приведенного к стандартным условиям, $\pm 1,0\%$) и измерений массы марки Гиперфлоу (относительная погрешность вычисления расхода $\pm 0,1\%$). Принципиальная схема установки представлена на рисунке.

К АГЗУ одновременно подключены восемь различных скважин СКВ1—СКВ8. При помощи переключателя скважин многоходового (ПСМ) 1 продукция одной скважины по измерительному каналу 2 направляется в сепарационную емкость 3, а продукция остальных скважин — в общий коллектор 4. В сепарационной емкости происходит отделение газа от жидкости. Выделившийся газ по газовой линии 5 измеряется расходомером СВГ.М 6, а жидкость при определенном давлении поступает в трубопровод для измерения турбинным расходомером для измерения турбинным расходомером ТОР 7. Измеренные отдельно жидкость и газ направляются в общий трубопровод 8, где снова смешиваются и выходят из АГЗУ. На выходе из АГЗУ на общем трубопроводе 8 смонтирована экспериментальная установка 9 таким образом, что расход газожидкостной смеси сначала измеряется массовым расходомером Гиперфлоу 10, а затем объемным вихревым расходомером ИРВИС 11. После проведения установленного количества измерений продукция скважины поступает в общий коллектор 4, где смешивается с продукцией остальных скважин и отправляется на технологическую подготовку.



Принципиальная схема экспериментальной установки:

СКВ1 — СКВ8 — скважины; 1 — переключатель скважин многоходовый; 2 — измерительная линия; 3 — сепарационная емкость; 4 — общий коллектор; 5 — газовая линия; 6 — расходомер СВГ.М; 7 — расходомер ТОР; 8 — общий трубопровод; 9 — экспериментальная установка; 10 — расходомер Гиперфлоу; 11 — расходомер ИРВИС

Таким образом, после проведения эксперимента имеются данные с четырех расходомеров, измеряющих: с СВГ.М — сепарированную газовую продукцию; со счетчика жидкости ТОР — сепарированную жидкостную продукцию; с массового расходомера Гиперфлоу — несепарированную смесь, с объемного расходомера ИРВИС — также несепарированную смесь.

Эксперимент проводился в течение 11 ч с последовательно включенными описанными выше средствами измерений. В таблице приведены результаты обработки среднечасовых архивных измеренных значений параметров смеси последовательно включенными расходомерами Гиперфлоу и ИРВИС.

Суточный объем смеси, измеренный расходомером ИРВИС, 346,80 м³, суточная масса смеси, измеренная расходомером Гиперфлоу, 16274,20 кг.

Следует обратить внимание на то, что при переходе к массовому расходу смеси используется расчетное значение ее плотности. Это необходимо учитывать, так как изменение состава измеряемой среды или ее параметров (давления и температуры) вызывает изменение плотности, а значит, и значения измеряемого перепада давления. В этом случае обычный расходомер с сужающим устройством будет иметь тем большую дополнительную погрешность, чем больше ρ отличается от $\rho_{см}$. Для уменьшения этой погрешности применяют различные способы. Чаще всего показания прибора умножают на поправочный коэффициент $\sqrt{\rho/\rho_{см}}$, в котором обычно используют значения ρ , взятые из показаний периодических лабораторных определений плотности среды [2, с.119].

Таким образом, $\rho_{см}$ рассчитываем по формуле

$$\rho_{см} = Q_{гф}^2 \rho / q_{ирв}^2, \quad (3)$$

где $\rho = 1,04 \text{ кг/м}^3$ — плотность газа при 20 °С, 101,325 кПа, определенная по лабораторным показаниям согласно [3].

Подставляя полученные данные из таблицы в (1) и (2), получаем искомые значения $Q_{м,ж} = 663,7 \text{ кг/ч}$ и $Q_{м,г} = 14,4 \text{ кг/ч}$. Используемые в этих расчетах $\rho_{ж} = 1176 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_{г} = 1,04 \text{ кг/м}^3$ определены согласно [3, 4].

Сравнение полученных расчетных данных экспериментальной установки с данными счетчиков жидкости марки ТОР и газовым расходомером марки СВГ.М, измеряющих соответственно сепарированную жидкостную и газовую продукцию, дало следующие результаты:

вычисленный массовый расход газа $Q_{м,г} = 14,4 \text{ кг/ч}$;

массовый расход газа по прибору СВГ.М $Q_{СВГ.М} = 13,7 \text{ кг/ч}$;

вычисленный массовый расход жидкости $Q_{м,ж} = 663,70 \text{ кг/ч}$;

массовый расход жидкости по ТОР $Q_{ТОР} = 777,50 \text{ кг/ч}$.

Погрешность метода определяли по [5, 6]. Используя значения погрешностей жидкостного и газового расходомеров (ТОР и СВГ.М), а также значения погрешностей вычисления $\rho_{ж}$ и $\rho_{г}$ (0,01 и 0,03 %, соответственно [3, 4]), получаем для погрешности расчета $S(Q_{ж}) = 40,7 \text{ кг}$ и $S(Q_{г}) = 0,4 \text{ кг}$, т. е. 6,1 и 2,6 %, соответственно.

Относительное отклонение вычисленных значений массы от измеренных составляет 14,6 % для жидкости и 5,1 % для газа. Это отклонение оказывается приблизительно в два раза выше погрешности вычислений как для газа, так и для жидкости.

Несмотря на указанное отличие в погрешностях измерений, полученные данные подтверждают возможность успешного применения предложенного метода для измерений объема попутного нефтяного газа в смеси без ее предварительной сепарации.

Полученное в ходе эксперимента отличие результатов измерений массы жидкости и газа от расчетных предполагает проведение дальнейших детальных измерений, а также глубокий анализ данных для получения более достовер-

Результаты измерений расходомерами ИРВИС и Гиперфлоу

Время	ИРВИС					Гиперфлоу			
	$T_{\text{вкл}}, \text{ ч}$	$q_{\text{ирв}}, \text{ м}^3/\text{ч}$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$p, \text{ кПа}$	$Q_{\text{ирв}}, \text{ м}^3/\text{ч}$	$Q_{\text{гпф}}, \text{ м}^3/\text{ч}$	$Q_{\text{МИСО}}, \text{ кг/ч}$	$\rho_{\text{см}}, \text{ кг/мВ}^3$	$Q_{\text{м}}, \text{ кг/ч}$
11:00	1	8	17,61	202,98	15	49	2098	39,02	312,13
12:00	1	4	18,96	194,3	9	60	1875	234,00	936,00
13:00	1	6	17,81	218,97	13	74	2362	158,20	949,17
14:00	1	14	19,92	189,52	26	40	1430	8,49	118,86
15:00	1	6	18,96	190,48	11	106	3213	324,60	1947,57
16:00	1	11	19,65	204,59	23	39	1527	13,07	143,80
17:00	1	5	19,11	187,61	9	61	2133	154,79	773,97
18:00	1	5	17,96	206,75	10	41	1727	69,93	349,65
19:00	1	7	19,91	212,91	14	63	2197	84,24	589,68
20:00	1	10	17,14	199,51	20	48	1837	23,96	239,62
21:00	1	4	17,51	196,18	9	65	2333	274,63	1098,50
Средний расход	—				14,50	—			678,10

П р и м е ч а н и е. $T_{вкл}$ — время измерения расхода; $q_{ирв}$ — расход смеси в рабочих условиях по ИРВИС; p, t — давление и температура по ИРВИС, соответственно; $Q_{ирв}$ — расход смеси в стандартных условиях по ИРВИС; $Q_{гф}$ — расход смеси в стандартных условиях по показаниям Гиперфлоу; $Q_{м,ИСО}$ — расчетное значение массового расхода смеси по программе «Расходомер ИСО»; $\rho_{см}$ — расчетное значение плотности смеси; $Q_{м}$ — массовый расход смеси, рассчитанный по формуле $Q_{м} = q_{ирв} \rho_{см}$.

ных результатов. Одной из возможных причин отличия результатов расчета и измерений фаз может быть большая погрешность расходомеров, в частности расходомера TOP при оперативном контроле режимов работы скважин, составляющая $\pm 6,0\%$. При дальнейших исследованиях предполагается реализовать как модернизацию АГЗУ с заменой расходомера TOP на массоммер с меньшим значением погрешности, так и способ измерений объема жидкости, прошедшей через экспериментальную установку, при помощи дополнительно установленной стационарной емкости.

Внедрение предложенного метода в производственный процесс позволит сократить затраты на эксплуатацию такого дорогостоящего и громоздкого оборудования, как АГЗУ, а получение текущих результатов и обработка этих данных в режиме реального времени позволит в перспективе проводить мониторинг работы скважины и принимать оперативные решения по режиму ее работы.

Литература

1. **ГОСТ Р 8.615—2005.** ГСИ. Измерения количества извлекаемой из недр нефти и нефтяного газа. Общие метрологические и технические требования.
2. **Кремлевский П. П.** Расходомеры и счетчики количества. Л.: Машиностроение, 1975.
3. **ГОСТ 31369—2008.** Газ природный. Вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава.
4. **ГОСТ 3900—85.** Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности.
5. **ГОСТ 8.207—76.** ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
6. **МИ 2083—90.** ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.

Дата принятия 19.03.2013 г.

621.317

Анализ воздействия влияющих факторов на результаты измерений влажности материала на высоких частотах

Б. П. ИСКАНДАРОВ*, П. И. КАЛАНДАРОВ**

*Азиатский Тихоокеанский университет технологии и инновации, Куала-Лумпур, Малайзия,
e-mail: bek3006@bk.ru

**Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан,
e-mail: Polvon_1955@yahoo.com

Выполнен анализ воздействия влияющих факторов на результаты измерений влажности жидких, пастообразных и сыпучих материалов. Разработаны рекомендации по построению электрической модели первичного измерительного преобразователя.

Ключевые слова: измерительный преобразователь, высокочастотный метод, контроль влажности, мешающие факторы.

The analysis of influence of interfering factors on measurement of moisture of liquid, paste-like, and friable materials is carried out. The recommendations on construction of electrical model of primary transmitter are worked out.

Key words: transmitter, high-frequency method, humidity control, interfering factors.

Управление технологическими процессами (ТП) и объектами в виде автоматического регулирующего воздействия возможно лишь при измерительном преобразовании и получении данных о требуемом информативном параметре, характеризующем ход ТП или состояние исследуемого объекта. Измерения и приборы при управлении ТП применяются в различных отраслях народного хозяйства. Проектирование средств измерений в составе автоматических систем управления ТП играет большую роль при построении автоматических систем регулирования, а также контроле

протекания ТП промышленного производства, где требуется измерительная информация в удобной для дальнейшего преобразования форме.

При использовании прямых измерений влажности преобладающую роль отдают измерению массовой доли влаги термогравиметрическим методом, являющимся базовым при оценке погрешностей косвенных методов. Суть метода заключается в выделении влаги из материала при высушивании в специальных аппаратах до определенной массы. Этот метод хорошо изучен и проанализирован большин-