

Оценка погрешности определения объёмного расхода попутного нефтяного газа

Чудин В. И., Жилияев О.В., Савленков Ю.Б.

Для определения целесообразности решения технической задачи определения объёмного расхода попутного нефтяного газа, входящего в состав добываемой продукции нефтяной скважины, необходима метрологическая оценка предлагаемого способа.

На рисунке представлена схема измерительной установки, которая позволит производить измерения следующих параметров газожидкостной смеси:

1. массового расхода жидкости в составе газожидкостной смеси;
2. плотности газожидкостной смеси;
3. плотности жидкости;
4. объёмного расхода жидкости;
5. объёмной доли газа в составе газожидкостной смеси;
6. объёмного расхода попутного нефтяного газа;
7. массовых долей жидкостей, входящих в состав жидкости;
8. объёмных долей жидкостей, входящих в состав жидкости.

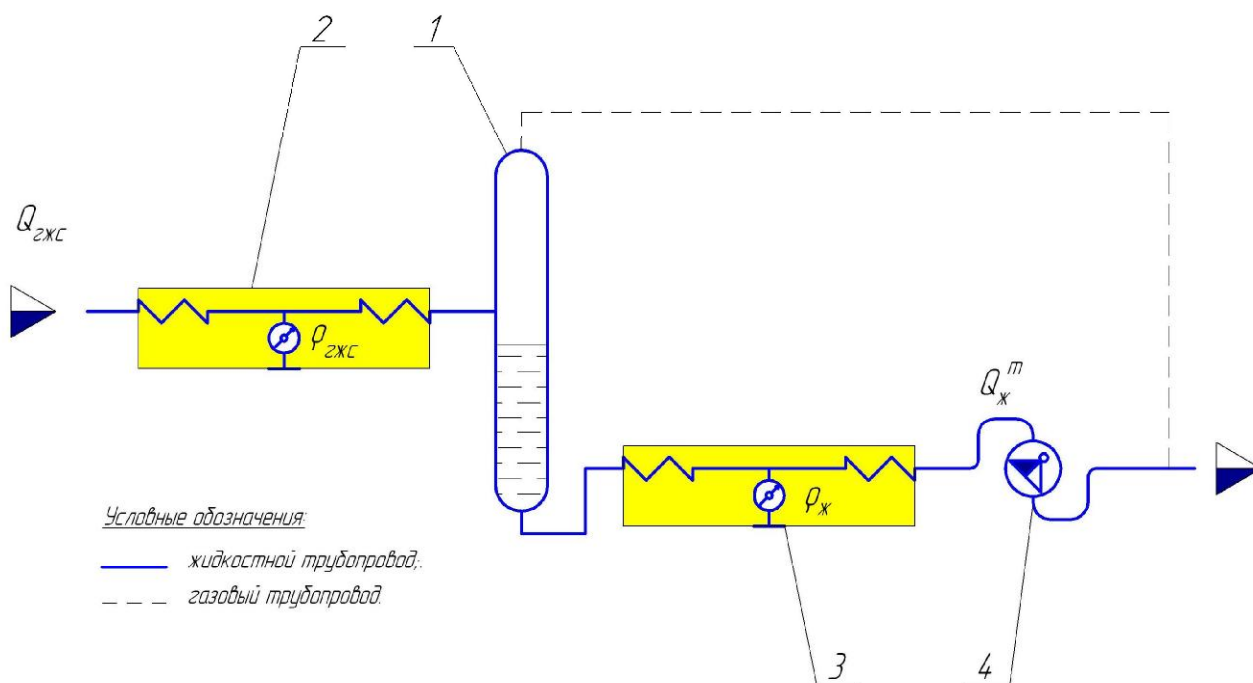


Рисунок: 1 – сепаратор; 2 – плотномер для измерения плотности газожидкостной смеси; 3 – плотномер, измеряющий плотность жидкости; 4 – массовый расходомер (счетчик) жидкости.

Принцип работы измерительной установки заключается в следующем. Газожидкостной поток поступает на вход плотномера 2, при прохождении через который производится измерение плотности $\rho_{гжс}$ газожидкостной смеси. Затем газожидкостной поток поступает в сепаратор 1, где происходит его разделение на газ и жидкость. Из сепаратора 1 поток жидкости вначале проходит по жидкостному трубопроводу вначале через плотномер 3, где произво-

дится измерение плотности жидкости, а затем через массовый расходомер 4 (счетчик) жидкости, например, типа СКЖ.

Объёмный расход попутного нефтяного газа определяется как функция:

$$Q_{\bar{a}} = f(Q_{\bar{a}}^v, a) = Q_{\bar{a}}^v \frac{a}{1-a}, \quad (1)$$

где $Q_{\bar{a}}^v$ - объёмный расход жидкости, м³/ч; a - объёмная доля газа в составе газожидкостной смеси.

Объёмную долю газа определяем по измеренным значениям $r_{\text{гжс}}$ и $r_{\text{жс}}$, а также заданному значению $r_{\text{г}}$:

$$a = \frac{r_{\bar{a}} - r_{\bar{a}en}}{r_{\bar{a}} - r_{\bar{a}}}. \quad (2)$$

Абсолютную погрешность определения объёмного расхода попутного нефтяного газа по формуле (1) получим способом разложения в ряд Тейлора (линеаризации), удерживая члены не выше 1^{го} порядка малости:

$$\Delta(Q_{\bar{a}}) = \frac{\partial f}{\partial Q_{\bar{a}}^v} \Delta(Q_{\bar{a}}^v) + \frac{\partial f}{\partial a} \Delta(a) = \frac{\bar{a}}{1-\bar{a}} \Delta(Q_{\bar{a}}^v) + \frac{Q_{\bar{a}}^v}{(1-\bar{a})^2} \Delta(a). \quad (3)$$

Относительная погрешность:

$$d(Q_{\bar{a}}) = \frac{\Delta(Q_{\bar{a}})}{Q_{\bar{a}}}; \quad (4)$$

$$\Delta(Q_{\bar{a}}^v) = d(Q_{\bar{a}}^v) \times \bar{Q}_{\bar{a}}^v; \quad (5)$$

$$\Delta(a) = d(a) \times \bar{a}. \quad (6)$$

$$\Delta(Q_{\bar{a}}) = \frac{\bar{a}}{1-\bar{a}} d(Q_{\bar{a}}^v) \cdot \bar{Q}_{\bar{a}}^v + \frac{\bar{Q}_{\bar{a}}^v}{(1-\bar{a})^2} d(a) \cdot \bar{a} = \bar{Q}_{\bar{a}}^v \frac{a}{1-a} \left(d(Q_{\bar{a}}^v) + \frac{d(a)}{1-a} \right) = \bar{Q}_{\bar{a}} \left(d(Q_{\bar{a}}^v) + \frac{d(a)}{1-a} \right) \quad (7)$$

$$d(Q_{\bar{a}}) = d(Q_{\bar{a}}^v) + \frac{d(a)}{1-a} \quad (8)$$

Применяя правило сложения погрешностей при косвенных измерениях, для доверительной вероятности $P = 0,95$ получаем:

$d(Q_{\bar{a}}) = 1,1 \sqrt{d^2(Q_{\bar{a}}^v) + \frac{d^2(a)}{(1-\bar{a})^2}}$	(9)
---	-----

Поскольку, согласно схемы на рисунке, производится прямое измерение массы жидкости, то значение объёмного расхода определяем по формуле:

$$Q_{\alpha}^v = \left(\frac{Q_{\alpha}^m}{r_{\alpha}} \right) \quad (10)$$

Для нахождения погрешности $d(Q_{\alpha}^v)$ также воспользуемся методом линеаризации:

$$\Delta(Q_{\alpha}^v) = \Delta(Q_{\alpha}^m) \frac{1}{r_{\alpha}} + \left(-\frac{1}{r_{\alpha}^2} \bar{Q}_{\alpha}^m \right) \Delta(r_{\alpha}) = \frac{\Delta(Q_{\alpha}^m)}{r_{\alpha}} - \frac{\bar{Q}_{\alpha}^m \cdot \Delta(r_{\alpha})}{r_{\alpha}}. \quad (11)$$

$$\begin{cases} \Delta(Q_{\alpha}^m) = d(Q_{\alpha}^m) \cdot \bar{Q}_{\alpha}^m; \\ \Delta(r_{\alpha}) = d(r_{\alpha}) \cdot \bar{r}_{\alpha}. \end{cases} \quad (12)$$

$$\Delta(Q_{\alpha}^v) = \frac{d(Q_{\alpha}^m) \cdot \bar{Q}_{\alpha}^m}{r_{\alpha}} - \frac{\bar{Q}_{\alpha}^m \cdot d(r_{\alpha}) \cdot \bar{r}_{\alpha}}{r_{\alpha}^2} = \frac{\bar{Q}_{\alpha}^m}{r_{\alpha}} (d(Q_{\alpha}^m) - d(r_{\alpha})) = \bar{Q}_{\alpha}^v (d(Q_{\alpha}^m) - d(r_{\alpha})). \quad (13)$$

Так как

$$\Delta(Q_{\alpha}^v) = \bar{Q}_{\alpha}^v \cdot d(Q_{\alpha}^v), \quad (14)$$

то

$$d(Q_{\alpha}^v) = d(Q_{\alpha}^m) - d(r_{\alpha}) \quad (15)$$

Применяя правило сложения погрешностей при косвенных измерениях, для доверительной вероятности $P = 0,95$ получим:

$$d(Q_{\alpha}^v) = 1,1 \sqrt{d^2(Q_{\alpha}^m) + d^2(r_{\alpha})} \quad (16)$$

Абсолютную погрешность вычисления по формуле (2) объемной доли попутного нефтяного газа в составе газожидкостной смеси найдем методом линеаризации.

Полный дифференциал функции газосодержания (2):

$$da = \frac{\partial a}{\partial r_{\alpha}} dr_{\alpha} + \frac{\partial a}{\partial r_{\bar{a}}} dr_{\bar{a}} + \frac{\partial a}{\partial r_{\bar{a}\alpha\bar{n}}} dr_{\bar{a}\alpha\bar{n}} \quad (17)$$

$$\frac{\partial a}{\partial r_{\alpha}} = \frac{(r_{\alpha} - r_{\bar{a}}) - (r_{\alpha} - r_{\bar{a}\alpha\bar{n}})}{(r_{\alpha} - r_{\bar{a}})^2} = \frac{(r_{\bar{a}\alpha\bar{n}} - r_{\bar{a}})}{(r_{\alpha} - r_{\bar{a}})^2}. \quad (18)$$

$$\frac{\partial a}{\partial r_{\bar{a}}} = \frac{(r_{\alpha} - r_{\bar{a}\alpha\bar{n}})}{(r_{\alpha} - r_{\bar{a}})^2}. \quad (19)$$

$$\frac{\partial a}{\partial r_{\bar{a}\alpha\bar{n}}} = -\frac{1}{r_{\alpha} - r_{\bar{a}}}. \quad (20)$$

$$da = \frac{r_{\bar{a}\alpha\bar{n}} - r_{\bar{a}}}{(r_{\alpha} - r_{\bar{a}})^2} dr_{\alpha} + \frac{r_{\alpha} - r_{\bar{a}\alpha\bar{n}}}{(r_{\alpha} - r_{\bar{a}})^2} dr_{\bar{a}} - \frac{1}{r_{\alpha} - r_{\bar{a}}} dr_{\bar{a}\alpha\bar{n}}. \quad (21)$$

Приравнивая дифференциалы dr_{α} , $dr_{\bar{a}}$, $dr_{\bar{a}\bar{e}\bar{n}}$ к величинам абсолютных погрешностей, и применяя правило сложения погрешностей получаем:

$$\Delta(a) = k \sqrt{\left(\frac{\bar{r}_{\bar{a}\bar{e}\bar{n}} - \bar{r}_{\bar{a}}}{(\bar{r}_{\alpha} - \bar{r}_{\bar{a}})^2} \right)^2 \Delta^2(r_{\alpha}) + \left(\frac{\bar{r}_{\alpha} - \bar{r}_{\bar{a}\bar{e}\bar{n}}}{(\bar{r}_{\alpha} - \bar{r}_{\bar{a}})^2} \right)^2 \Delta^2(r_{\bar{a}}) + \left(\frac{\Delta(r_{\bar{a}\bar{e}\bar{n}})}{\bar{r}_{\alpha} - \bar{r}_{\bar{a}}} \right)^2}. \quad (22)$$

где $k = 1,12$ для $P = 0,95$.

В свою очередь относительная погрешность определения объёмной доли газа будет иметь вид:

$$d(a) = \frac{\Delta(a)}{a}. \quad (23)$$

В качестве примера на рис. 2 представлен анализ изменения величины относительной погрешности определения объёмного расхода попутного газа в зависимости от его объёмной доли.

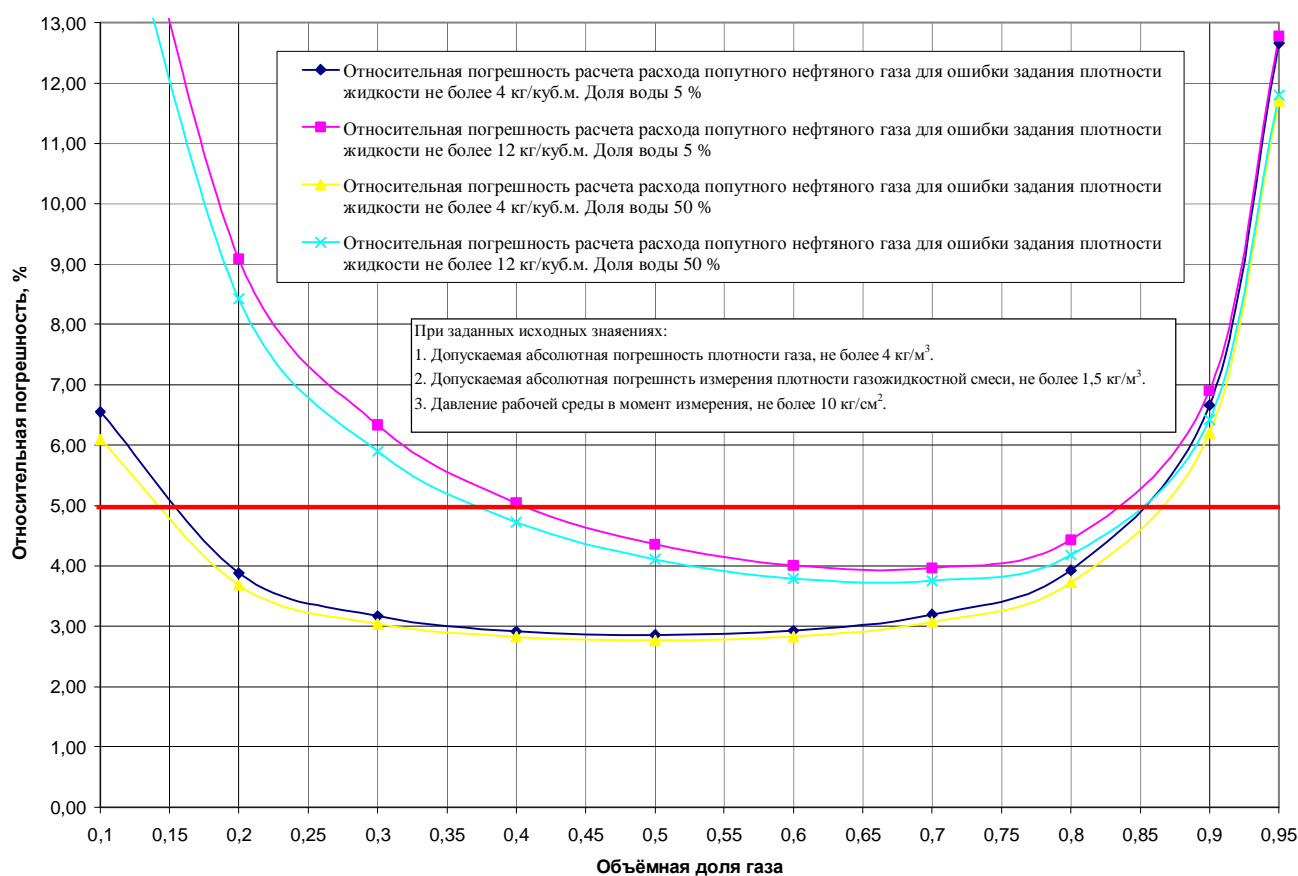


Рисунок 2

Вывод

Предложенный способ может успешно применяться на практике для определения расхода попутного нефтяного газа в составе газожидкостной смеси в диапазоне содержания объёмной доли попутного нефтяного газа в зависимости от величины максимальной допускаемой относительной погрешности (см. рис. 2.).