

Колмогоров Алексей Геннадьевич,

к.т.н., доцент, зав. кафедрой автоматизации технологических процессов,

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: atp@angtu.ru

**ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ ЖИДКОГО ЭТИЛЕНА
В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ**

Kolmogorov A.G.

**ESTIMATION OF THE ERROR IN MEASURING THE MASS
OF LIQUID ETHYLENE IN CYLINDRICAL HORIZONTAL TANKS**

Аннотация. Рассмотрена методика оценки измерения массы жидкого этилена в стальных цилиндрических горизонтальных градуированных резервуарах АО «Ангарский завод полимеров», учитывающая массу паровой фазы сжиженных углеводородов.

Ключевые слова: цилиндрический горизонтальный резервуар, жидкий этилен, измерение массы, оценка погрешности.

Abstract. A method for estimating the mass measurement of liquid ethylene in steel cylindrical horizontal graduated tanks of JSC Angarsk Polymer Plant, which takes into account the mass of the vapor phase of liquefied hydrocarbons, is considered.

Keywords: cylindrical horizontal tank, liquid ethylene, mass measurement, error estimation.

В настоящее время для измерения массы сжиженных углеводородных газов (СУГ) используют рекомендации ГОСТ Р 8.785-2012 «ГСИ. Масса газового конденсата, сжиженного углеводородного газа и широкой фракции легких углеводородов. Общие требования к методикам (методам) измерений». В данном документе за массу СУГ принимается масса жидкой фазы сжиженных газов и, как следствие, показатели точности нормированы только для массы жидкой фазы СУГ.

Однако при сведении материального баланса СУГ на предприятиях нефтехимического комплекса, и в частности на АО «Ангарский завод полимеров», отмечается постоянный дебаланс между измеренной на вагонных весах (прямой статический метод измерения) массой СУГ, измеренной массомером (прямой динамический метод измерения), и массой СУГ, принятой в резервуары (косвенный статический метод измерения массы).

Для устранения дебаланса и повышения достоверности учёта массы СУГ в резервуарах необходимо учитывать массу паровой фазы СУГ. Решить данную задачу позволяет разрабатываемая методика измерения массы СУГ в резервуарах [1].

Согласно [2], при оформлении методики необходимо производить оценку предполагаемой погрешности измерения, что и будет рассмотрено в данной статье.

Объектом исследования является емкостной парк объекта 1849 АО «Ангарский завод полимеров», предназначенный для приёма, хранения и выдачи этилена потребителям. Парк состоит из четырёх горизонтальных цилиндрических градуированных резервуаров Е-88/А, Б, В, Г номинальным объёмом 100 м³ каждый. Этилен хранится в ёмкостях в сжиженном состоянии. Давление в ёмкостях поддерживается в диапазоне 1,2÷1,8 МПа, температура в резервуарах определяется температурой окружающей среды.

При выполнении измерений по данной методике, на объекте применяют средства измерения (СИ) и другие технические средства с метрологическими характеристиками согласно таблице 1.

Таблица 1

Технические средства измерения, применяемые в методике

№ п/п	Технические средства	Тип, характеристики
1	Резервуары Е-88а, Е-88б, Е-88в, Е-88г	– горизонтальные цилиндрические, градуированные, номинальный объём 100 м³, относительная погрешность определения вместимости $\pm 0,2$ %
2	СИ уровня	– уровнемер микроимпульсный Levelflex FMP 51, шкала 2500 мм, абсолютная погрешность ± 2 мм; – вторичный прибор – РСУ, погрешность $\pm 0,1$ %
3	СИ температуры жидкой и паровой фаз	– термопреобразователь сопротивления, градуировка Pt100, абсолютная погрешность $\pm 0,5$ °С. Шкала: минус 100... 50 °С, класс А по ГОСТ 665194; – вторичный прибор – РСУ, погрешность $\pm 0,2$ °С
4	СИ давления	– преобразователь давления APC-2000 (Aplisens S.A.), шкала 0...2,5 МПа, погрешность $\pm 0,075$ %; – вторичный прибор – РСУ, погрешность $\pm 0,2$ °С
5	Устройство обработки информации на базе ПЭВМ	– предел допускаемой относительной погрешности – не более $\pm 0,05$ %

Все средства измерения должны быть откалиброваны или поверены. Резервуары должны иметь утверждённые в установленном порядке, действующие градуировочные таблицы по ГОСТ 8.346-2000.

Допускается применение других СИ и технических средств, имеющих метрологические и технические характеристики не хуже, чем у приведённых в таблице 1.

Согласно [1], в результате применения косвенного метода статических измерений были определены:

- масса жидкой фазы $m_{ж}$ (кг) СУГ;

- масса паровой фазы m_{Π} (кг) СУГ;
- общая масса m (кг) СУГ, как сумма жидкой и паровой фаз.

Произведём оценку погрешности измерения массы с учётом представленных в таблице 1 данных о погрешности СИ.

Относительная погрешность измерения массы СУГ в резервуаре, %, рассчитывается по формуле:

$$\delta m = \pm \sqrt{\delta m_{\text{ж}}^2 \cdot \left(\frac{m_{\text{ж}}}{m}\right)^2 + \delta m_{\Pi}^2 \cdot \left(\frac{m_{\Pi}}{m}\right)^2}. \quad (1)$$

Абсолютная погрешность измерения массы СУГ в резервуаре, кг, при необходимости, определяется по формуле:

$$\Delta m = m \cdot \delta m / 100. \quad (2)$$

Относительная погрешность измерения массы жидкой фазы СУГ в резервуаре, $\delta m_{\text{ж}}$, %, рассчитывается по формуле:

$$\delta m_{\text{ж}} = \pm 1,1 \sqrt{\delta K^2 + \delta K_{\Phi}^2 \cdot \delta H^2 + \delta \rho_{\text{ж}}^2 + \delta N^2}. \quad (3)$$

Относительная погрешность измерения массы паровой фазы СУГ в резервуаре, δm_{Π} , %, рассчитывается по формуле:

$$\delta m_{\Pi} = \pm 1,1 \sqrt{\delta K^2 + \delta K_{\Phi}^2 \cdot \delta H^2 + \delta K_{\text{полн}}^2 + \delta \rho_{\Pi}^2 + \delta N^2}, \quad (4)$$

где δK – относительная погрешность определения вместимости резервуара по градуировочной таблице при измеряемом уровне наполнения резервуара H , %;

$\delta K_{\text{полн}}$ – относительная погрешность определения полной вместимости резервуара по градуировочной таблице, %;

δN – предел допускаемой относительной погрешности устройства обработки информации, %, согласно таблице 1;

δK_{Φ} – коэффициент, учитывающий геометрическую форму резервуара при измеряемом уровне наполнения резервуара H . Находится по формуле:

$$\delta K_{\Phi} = \frac{\Delta V_{20} \cdot H}{V_{20}}, \quad (5)$$

где ΔV_{20} – объём жидкой фазы СУГ, приходящийся на 1 мм высоты наполнения резервуара на измеряемом уровне H согласно градуировочной таблице, м³/мм;

V_{20} – объём жидкой фазы СУГ при уровне H согласно градуировочной таблице, м³;

δH – относительная погрешность измерения уровня жидкой фазы СУГ в резервуаре, %, принимается равной

$$\delta H = \frac{H_{max}}{H} \sqrt{\delta H_{max}^2 + \delta H_{доп}^2 + \delta S_H^2}, \quad (6)$$

где H_{max} – верхний предел измерения уровнемера согласно таблице 1, мм;

δH_{max} – относительная погрешность СИ уровня, приведённая к верхнему пределу измерения СИ уровня, согласно таблице 1, %;

δS_H – относительная погрешность аналого-цифрового преобразователя или шкалы вторичного прибора при измерении уровня, приведённая к верхнему пределу измерения, согласно таблице 1, %;

$\delta H_{доп}$ – дополнительная погрешность измерения уровня, полученная по формуле (7) в случае, если измерения проводятся на неперекрытом резервуаре, %:

$$\delta H_{доп} = \pm \frac{H_1 - H_2}{2H_{max}} 100, \quad (7)$$

где H_1 и H_2 – максимальное и минимальное наблюдаемые значения наблюдаемого уровня за период наблюдения;

$\delta \rho_{ж}$ – относительная погрешность определения плотности жидкой фазы СУГ, %. Значение рассчитывается по формуле:

$$\delta \rho_{ж} = \sqrt{(\beta_{ж} \cdot 100 \cdot \Delta T_{ж})^2 + (\delta \rho_{ж}^{таб})^2}, \quad (8)$$

где $\beta_{ж}$ – коэффициент объёмного расширения жидкой фазы СУГ при значении температуры $T_{ж}$ в резервуаре, 1/°C, принимают в соответствии с таблицей 2;

$\Delta T_{ж}$ – суммарная абсолютная погрешность определения температуры $T_{ж}$, °C;

$\delta \rho_{ж}^{таб}$ – пределы относительной погрешности определения плотности по таблице 2, выражающей зависимость плотности жидкой фазы СУГ от температуры, %, составляют $\pm 0,5$ % [3].

Таблица 2

Плотность $\rho_{ж}$ и коэффициент объёмного расширения $\beta_{ж}$ жидкого этилена при различных температурах $T_{ж}$

$T_{ж},$ °C	$\rho_{ж},$ кг/м ³	$\beta_{ж},$ 1/°C	$T_{ж},$ °C	$\rho_{ж},$ кг/м ³	$\beta_{ж},$ 1/°C	$T_{ж},$ °C	$\rho_{ж},$ кг/м ³	$\beta_{ж},$ 1/°C	$T_{ж},$ °C	$\rho_{ж},$ кг/м ³	$\beta_{ж},$ 1/°C
-50	481,0	0,0046	-40	459,0	0,0049	-30	436,0	0,0056	-20	410,0	0,0067
-49	478,8	0,0046	-39	456,7	0,0049	-29	433,4	0,0057	-19	407,1	0,0068
-48	476,6	0,0046	-38	454,4	0,0050	-28	430,8	0,0058	-18	404,2	0,0070
-47	474,4	0,0046	-37	452,1	0,0050	-27	428,2	0,0059	-17	401,3	0,0071
-46	472,2	0,0047	-36	449,8	0,0051	-26	425,6	0,0060	-16	398,4	0,0072
-45	470,0	0,0047	-35	447,5	0,0051	-25	423,0	0,0061	-15	395,5	0,0073
-44	467,8	0,0047	-34	445,2	0,0052	-24	420,4	0,0063	-14	392,6	0,0074
-43	465,6	0,0048	-33	442,9	0,0053	-23	417,8	0,0064	-13	389,7	0,0074
-42	463,4	0,0048	-32	440,6	0,0054	-22	415,2	0,0065	-12	386,8	0,0075
-41	461,2	0,0048	-31	438,3	0,0055	-21	412,6	0,0066	-11	383,9	0,0076
									-10	381,0	0,0077

Значение относительной погрешности определения плотности паровой фазы СУГ, %, рассчитывается по формуле:

$$\delta\rho_{\text{п}} = \pm \sqrt{\delta T_{\text{п}}^2 + \delta P^2 + \delta Z^2}, \quad (9)$$

где δZ – относительная погрешность определения коэффициента сжимаемости паровой фазы СУГ (принимаемая в соответствии с [4] равной $\pm 5\%$);

$\delta T_{\text{п}}^2$ – относительная погрешность определения абсолютной температуры паровой фазы СУГ, %, равная

$$\delta T_{\text{п}} = \frac{100}{273,15 + T_{\text{п}}} \sqrt{\Delta T_{\text{п}}^2 + \Delta S_{\text{т}}^2}, \quad (10)$$

где $\Delta T_{\text{п}}$ – суммарная абсолютная погрешность определения температуры $T_{\text{п}}$, °С;

$T_{\text{п}}$ – температура паровой фазы СУГ, °С;

$\Delta S_{\text{т}}$ – абсолютная погрешность аналого-цифрового преобразователя или шкалы вторичного прибора при измерении температуры, приведённая к верхнему пределу измерения, согласно таблице 3, °С.

Таблица 3

Диапазоны измеряемых величин

№ п/п	Измеряемая величина	Диапазон
1.	Уровень, мм	от 500 до 2500
2.	Вместимость, м ³	до 88,771
3.	Температура, °С	от минус 40 до минус 20
4.	Плотность жидкой фазы, кг/м ³	от 410 до 460
5.	Избыточное давление, МПа	от 1,6 до 1,8

Относительная погрешность измерения абсолютного давления паровой фазы СУГ, %, принимается равной:

$$\delta P = \frac{P_{\text{max}}}{P} \sqrt{\delta P_{\text{и}}^2 + \delta P_{\text{доп}}^2 + \delta S_{\text{п}}^2}, \quad (11)$$

где P_{max} – верхний предел измерения датчика избыточного давления согласно таблице 1, МПа;

P – абсолютное давление паровой фазы СУГ, МПа;

$\delta P_{\text{и}}$ – относительная погрешность СИ избыточного давления паровой фазы СУГ, %, приведённая к верхнему пределу измерения, согласно таблице 1;

$\delta P_{\text{доп}}$ – дополнительная погрешность измерения давления, полученная по формуле (12) в случае, если измерения проводятся на неперекрытом резервуаре, %;

$$\delta P_{\text{доп}} = \pm \frac{P_1 - P_2}{2P_{\text{max}}} 100, \quad (12)$$

где P_1 и P_2 – максимальное и минимальное наблюдаемые значения наблюдаемого давления за период наблюдения;

δS_p – относительная погрешность аналого-цифрового преобразователя или шкалы вторичного прибора при измерении давления, приведённая к верхнему пределу измерения, %, согласно таблице 1.

Представленная в статье методика оценки погрешности дополняет методику определения массы СУГ жидкого этилена [1], планируется к применению вне сферы государственного регулирования и не подлежит обязательной аттестации. При необходимости данная методика может быть аттестована в добровольном порядке в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.563-2009.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Колмогоров, А. Г.** Измерение массы жидкого этилена в стальных цилиндрических горизонтальных резервуарах / А.Г. Колмогоров, В.В. Фигура. – Текст: непосредственный // Вестник АНГТУ. – 2024. – № 18. – С. 210–212.
2. **ГОСТ Р 8.563-2009.** Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методики (методы) измерений. Переиздание. Февраль 2019 г. М.: Стандартинформ, 2019.
3. **Smukala J., Span R., Wagner W.** New Equation of State for Ethylene Covering the Fluid Region for Temperatures From the Melting Line to 450 K at Pressures up to 300 MPa. J. Phys. Chem. Ref. Data, 2000.
4. **Рид Р., Праусниц Дж., Шевруд Т.** Свойства газов и жидкостей – Л.: Химия, 1982. – 592 с.