



УДК 681.12:53.088

О ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗНОСТИ УРОВНЕЙ УРОВНЕМЕРАМИ

Г.Ю. Народницкий, доктор технических наук, старший научный сотрудник, директор научного центра
ННЦ "Институт метрологии", г. Харьков

С.Ю. Тюпа, младший научный сотрудник ННЦ "Институт метрологии", г. Харьков



Г.Ю. Народницкий



С.Ю. Тюпа

Проведены экспериментальные исследования погрешности измерения разности уровней для радарных и поплавковых уровнемеров.

The experimental researches of the measurement uncertainty of level differences for radar and float level gages were conducted.

Важной задачей учета нефти и нефтепродуктов является измерение определенного объема продуктов, полученных в резервуар или отпускаемых из резервуара, характеризующегося разностью уровней ($H_1 - H_2$) в начале H_1 и в конце H_2 торговой операции. Абсолютная погрешность измерения разности уровней $\Delta_{\text{Нразн}}$, измеряемых серийно выпускаемым уровнемером, определяется обычно как результат косвенных измерений — операции разности, в предположении о независимости величин H_1 и H_2 [1]:

$$\Delta_{\text{Нразн}} = \pm 1,1 \sqrt{\Delta_{H_1}^2 + \Delta_{H_2}^2}, \quad (1)$$

где коэффициент 1,1 соответствует доверительной вероятности 95 %, а погрешность уровнемера считается, как правило, в основном неисклученной систематической, имеющей равномерное распределение.

При абсолютной погрешности уровнемера, не зависящей от значения уровня,

$$\Delta_{H_1} = \Delta_{H_2} = \Delta_H; \quad \Delta_{\text{Нразн}} = \pm 1,1 \sqrt{2} \cdot \Delta_H.$$

Представляет интерес экспериментальное исследование погрешности измерения разности уровней серийно выпускаемыми уровнемерами. Такое исследование было проведено по результатам поверки на государственном первичном эталоне единицы длины для уровня жидкости (ДЕТУ 03-02-97) 22-х микроволновых (радарных) уровнемеров типа VEGAPULS 54 производства фирмы "VEGA Grieshaber KG", Германия, с пределами абсолютной допускаемой погрешности ± 10 мм, и 10-ти поплавковых уровнемеров типа ATG854 производства фирмы "Honeywell", Германия, с пределами абсолютной допускаемой погрешности, установленными при их аттестации, равными ± 2 мм. Диапазон измерения микроволновых уровнемеров составляет 4 м, поплавковых — 11 м. Измерения расстояний до поверхности воды в резервуаре эталона эталонным и поверяемыми уровнемерами проводились в 6-ти точках для микроволновых уровнемеров и в 10-ти — для поплавковых. Для устранения влияния неидентичности мест начала измерений эталонным и поверяемыми уровнемерами фиксировались приращения расстояний от первых измерений H_0 , то есть погрешность первого измерения принималась равной нулю. Были сформированы ряды результатов измерений для эталонного и поверяемых уровнемеров $H_{\text{эт}}$ и $H_{\text{п}}$ соответственно:

$$H_{\text{эт1}} - H_{\text{эт0}} = H'_{\text{эт1}};$$

$$H_{\text{эт2}} - H_{\text{эт0}} = H'_{\text{эт2}};$$

$$H_{\text{эт3}} - H_{\text{эт0}} = H'_{\text{эт3}};$$

$$-----$$

$$H_{\text{эт6}} - H_{\text{эт0}} = H'_{\text{эт6}};$$

$$H_{\text{п1}} - H_{\text{п0}} = H'_{\text{п1}};$$

$$H_{\text{п2}} - H_{\text{п0}} = H'_{\text{п2}};$$

$$H_{\text{п3}} - H_{\text{п0}} = H'_{\text{п3}};$$

$$-----$$

$$H_{\text{п6}} - H_{\text{п0}} = H'_{\text{п6}}.$$

Каждое измеренное значение $H_{\text{эт}}$ и $H_{\text{п}}$ находилось как среднее значение 5-ти результатов наблюдений.

После этого формировались разностные ряды и ряды погрешностей разности уровней:

- для разности уровней в случае микроволновых уровнемеров, равной одиночной разности установочных уровней:

$$\Delta_{\text{Н1,1}} = (H'_{\text{эт2}} - H'_{\text{эт1}}) - (H'_{\text{п2}} - H'_{\text{п1}}) ;$$

$$\Delta_{\text{Н1,2}} = (H'_{\text{эт3}} - H'_{\text{эт2}}) - (H'_{\text{п3}} - H'_{\text{п2}}) ;$$

$$\Delta_{\text{Н1,5}} = (H'_{\text{эт6}} - H'_{\text{эт5}}) - (H'_{\text{п6}} - H'_{\text{п5}}) ;$$

- для разности уровней, равной удвоенной разности установочных уровней:

$$\Delta_{\text{Н2,1}} = (H'_{\text{эт3}} - H'_{\text{эт1}}) - (H'_{\text{п3}} - H'_{\text{п1}}) ;$$

$$\Delta_{\text{Н2,2}} = (H'_{\text{эт4}} - H'_{\text{эт2}}) - (H'_{\text{п4}} - H'_{\text{п2}}) ;$$

$$\Delta_{\text{Н2,4}} = (H'_{\text{эт6}} - H'_{\text{эт4}}) - (H'_{\text{п6}} - H'_{\text{п4}}) ;$$

- для разности уровней, равной утроенной разности установочных уровней:

$$\Delta_{\text{Н3,1}} = (H'_{\text{эт4}} - H'_{\text{эт1}}) - (H'_{\text{п4}} - H'_{\text{п1}}) ;$$

$$\Delta_{\text{Н3,2}} = (H'_{\text{эт5}} - H'_{\text{эт2}}) - (H'_{\text{п5}} - H'_{\text{п2}}) ;$$

$$\Delta_{\text{Н3,3}} = (H'_{\text{эт6}} - H'_{\text{эт3}}) - (H'_{\text{п6}} - H'_{\text{п3}}) ;$$

- для разности уровней, равной учетверенной разности установочных уровней:

$$\Delta_{\text{Н4,1}} = (H'_{\text{эт5}} - H'_{\text{эт1}}) - (H'_{\text{п5}} - H'_{\text{п1}}) ;$$

$$\Delta_{\text{Н4,2}} = (H'_{\text{эт6}} - H'_{\text{эт2}}) - (H'_{\text{п6}} - H'_{\text{п2}}) .$$

После этого находились средние квадратические значения погрешностей для каждого значения разности уровней для каждого поверяемого уровнемера по выражению

$$\Delta_{\text{Н1ск}} = \sqrt{\frac{\Delta_{\text{Н1,1}}^2 + \Delta_{\text{Н1,2}}^2 + \Delta_{\text{Н1,3}}^2 + \Delta_{\text{Н1,4}}^2 + \Delta_{\text{Н1,5}}^2}{4}} ;$$

$$\Delta_{\text{Н2ск}} = \sqrt{\frac{\Delta_{\text{Н2,1}}^2 + \Delta_{\text{Н2,2}}^2 + \Delta_{\text{Н2,3}}^2 + \Delta_{\text{Н2,4}}^2}{3}} ;$$

$$\Delta_{\text{Н4ск}} = \sqrt{\Delta_{\text{Н4,1}}^2 + \Delta_{\text{Н4,2}}^2} .$$

По этим результатам находились средние квадратические значения погрешностей для каждого значения разности уровней, усредненные для всех n уровнемеров данного типа:

$$\langle \Delta_{\text{Н1ср}} \rangle = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta_{\text{Н1ски}})^2} ;$$

$$\langle \Delta_{\text{Н2ср}} \rangle = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta_{\text{Н2ски}})^2} ;$$

$$\langle \Delta_{\text{Н4ср}} \rangle = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta_{\text{Н4ски}})^2} .$$

Результаты расчетов вместе со средней квадратической погрешностью для всех значений уровня всех уровнемеров этого типа приведены в табл. 1. Для сравнения в этой же таблице приведена ожидаемая средняя квадратическая погрешность измерений разности уровней при независимых измерениях, полученная по (1): $\Delta = \pm 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,88$.

Таблица 1

Средние квадратичные абсолютные погрешности измерений разности уровней микроволновыми уровнемерами

Разность уровней, м	Средняя квадратическая абсолютная погрешность измерений разности уровней, мм	Средняя квадратическая абсолютная погрешность усреднения для всех устанавливаемых расстояний и всех уровнемеров, мм	Ожидаемая средняя квадратическая погрешность измерений разности уровней при независимых измерениях, мм
0,4	2,91	3,88	6,04
0,8	3,21		
1,2	3,105		
1,6	4,73		

На рис. 1 приведен график зависимости средней квадратической погрешности измерений разности уровней микроволновыми уровнемерами. При построении графика были усреднены результаты расчетов для разности уровней 1,2 и 1,6 м, так как количество разностей уровней для разности 1,6 м составляет всего 2 числа. Получено среднее значение 3,9 мм, что соответствует разности уровней 1,4 м.

На рис. 1 приведены 95-процентные доверительные интервалы, исходя из χ^2 – распределения дисперсии [2] с числом степеней свободы $(n - 1)$, где n – количество измерений. В данном случае величина n составляла около 100. Также было учтено, что при переходе от дисперсии к средним квадратическим значениям относительные доверительные интервалы уменьшаются в 2 раза. При этом даже на максимальной разности уровней корреляция еще очень значительная.

Полученные результаты указывают на то, что показания уровнемеров на разных значениях уровня частично коррелированы, причем, чем больше разность уровней, тем меньше коэффициент корреляции. В итоге при малых разностях расстояний (0,4 м) экспериментально найденная погрешность

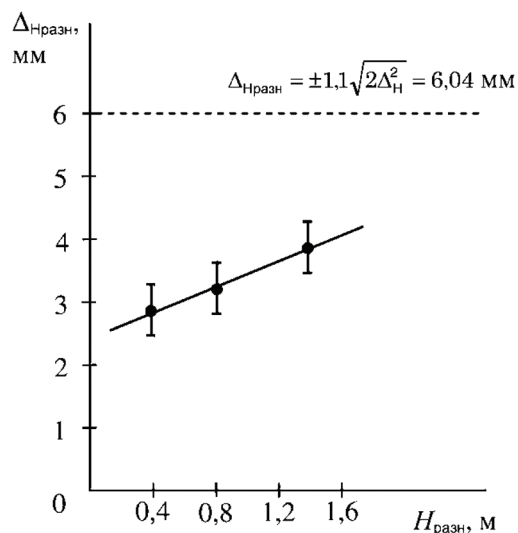


Рис. 1. Зависимость погрешности измерения разности уровней $\Delta_{Нразн}$ микроволновых уровнемеров от разности уровней $H_{разн}$

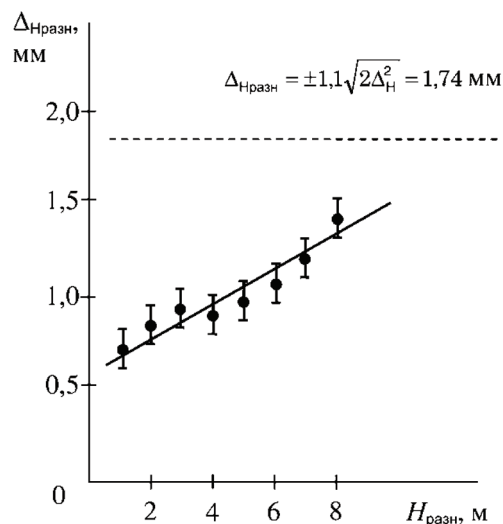


Рис. 2. Зависимость погрешности измерения разности уровней $\Delta_{Нразн}$ поплавковых уровнемеров от разности уровней $H_{разн}$

Таблица 2

Средняя квадратическая абсолютная погрешность измерений разности уровней поплавковыми уровнемерами

Разность уровней, м	Средняя квадратическая абсолютная погрешность измерений разности уровней, мм	Средняя квадратическая абсолютная погрешность усреднения для всех устанавливаемых расстояний и всех уровнемеров, мм	Ожидаемая средняя квадратическая погрешность измерений разности уровней при независимых измерениях, мм
1	0,72	1,12	1,74
2	0,85		
3	0,91		
4	0,88		
5	0,98		
6	1,05		
7	1,23		
8	1,41		

измерения разности расстояний меньше рассчитанной при условии некоррелированности измерений более чем в 2 раза (в 2,08 раза).

Результаты аналогичных расчетов для 10-ти поплавковых уровнемеров приведены в табл. 2 и на рис. 2. Для этой серии уровнемеров получен вывод, что экспериментально найденная погрешность измерения разности уровней на малых разностях уровней (1 м) также значительно меньше (в 2,42 раза), чем рассчитанная при условии некоррелированности измерений.

Полученные результаты указывают на целесообразность нормирования для уровнемеров не только

погрешности измерений уровня, но и погрешности измерения разности уровней для тех значений разности уровней, на которых эти погрешности существенно отличаются.

Список литературы

1. МИ 2083-90 Рекомендация. ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.
2. *Дженкинс Г.* Спектральный анализ и его применения / Г. Дженкинс, Д. Ваттс. – М.: Мир, 1971. – Вып. 1. – 316 с.