

УДК 621.18.08:006.91

М. А. Бондарь, М. А. Волошина, Л. Е. Ерес, И. М. Курако, С. И. Носков

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Приведены анализ составляющих неопределенности измерений по типам А и В при проведении метрологической аттестации средств измерительной техники и пример оценивания неопределенности измерений измерительного канала давления. Внедрение рассмотренной методологии обеспечит соответствие определяемых метрологических характеристик положениям международных нормативных документов.

Наведено аналіз складових невизначеності вимірювань за типами А і В під час проведення метрологічної аттестації засобів вимірювальної техніки та приклад оцінювання невизначеності вимірювань вимірювального каналу тиску. Впровадження розглянутої методології забезпечить відповідність визначуваних метрологічних характеристик положенням міжнародних нормативних документів.

The analysis is presented of measurement uncertainties components by A and B types during metrological certification of measuring instrumentation. The example is presented of the evaluation of measurement uncertainties of pressure measurement channel. Introduction of the methodology under consideration will ensure compliance of the metrological characteristics determined with the regulations of international normative documents.

Неопределенность измерений – это отрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений, приписываемых измеряемой величине на основании используемой информации (JCGM 200:2012).

Для украинских предприятий, в том числе ракетно-космической и оборонной промышленности, актуальной является необходимость дополнения характеристик погрешности измерений используемых средств измерительной техники данными о неопределенности измерений.

При метрологической аттестации средств измерительной техники проводится оценка характеристик погрешности согласно действующей в Украине нормативной документации в области метрологии. Полученные оценки погрешности аттестованных средств измерительной техники вносят в свидетельства о метрологической аттестации этих средств измерительной техники.

Для расчета неопределенности измерений необходимо наличие методологии. В статье рассмотрена методология оценивания неопределенности измерений согласно положениям ДСТУ-Н РМГ 43-2006 с учетом специфических особенностей по-

лучения измерительной информации при проведении метрологической аттестации средств измерительной техники (измерительных каналов).

Для иллюстрации предлагаемой методологии рассмотрим подлежащий метрологической аттестации измерительный канал давления (рис. 1).

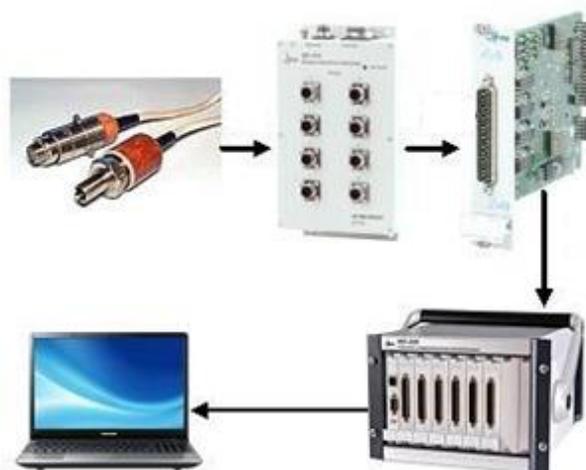


Рис. 1. Измерительный канал давления

Структурная схема измерительного канала давления, как правило, состоит из первичного и промежуточного измери-

тельного преобразователей давления и многоканального измерительного комплекса, который регистрирует и обрабатывает поступающие в него данные с помощью специального программного обеспечения.

При метрологической аттестации измерительного канала с помощью вспомогательного оборудования многократно воспроизводят известные значения давления по прямому и обратному ходу в точках, равномерно распределенных по диапазону измерения канала. Эти задаваемые давления измеряются измерительным каналом с использованием его градуировочной характеристики, определенной до начала метрологической аттестации, и параллельно эталонным средством измерительной техники.

Для рассматриваемого примера в качестве точек нагружения выбраны значения давления 0, 2, 4, 6, 8, 10 кгс/см². В качестве эталонного средства измерительной техники используют грузопоршневой манометр с допустимой относительной погрешностью ±0,2% при доверительной вероятности P=0,95.

Для математической обработки результатов наблюдений формируются исходные данные по форме табл. 1.

Таблица 1

Результаты наблюдений по измерительному каналу давления

Номер точки нагружения	Задаваемое давление, кгс/см ²	Ход	Результаты наблюдений по измерительному каналу, кгс/см ²				
			1	2	3	4	5
1	0	Прямой	0,0117	0,0129	0,01170	0,0117	0,0117
	0	Обратный	0,0117	0,0141	0,0117	0,0117	0,0117
2	2	Прямой	1,9955	2,0004	2,0090	1,9992	1,9955
	2	Обратный	2,0004	2,0066	2,0140	2,0041	1,9967
3	4	Прямой	3,9904	3,9954	3,9978	3,9929	3,9892
	4	Обратный	3,9978	4,0027	4,0114	4,0003	3,9966
4	6	Прямой	5,9964	6,0051	6,0088	5,9964	5,9940
	6	Обратный	6,0051	6,0088	6,0199	6,0088	6,0038
5	8	Прямой	8,0185	8,0246	8,0222	8,0160	8,0111
	8	Обратный	8,0246	8,0283	8,0370	8,0259	8,0222

6	10	Прямой	10,0590	10,0650	10,0620	10,0590	10,0492
	10	Обратный	10,0590	10,0650	10,0620	10,0590	10,0492

Каждый результат наблюдения подлежит исправлению путем внесения поправки q по формуле

$$x = x' + q,$$

где x – исправленный результат наблюдений;

x'_i – результат наблюдения;

q_i – среднее арифметическое значение поправки в исследуемых точках, определяемое по формуле

$$q_i = \frac{\sum (x'_i - x_{эм})}{m} = x_{эм} - \bar{x}'_i;$$

m – количество результатов наблюдений при экспериментальном определении поправки, для рассматриваемого примера $m=5$;

$x_{эм}$ – эталонное значение измеряемого параметра при экспериментальном определении поправки;

\bar{x}'_i – среднее арифметическое результатов наблюдений в i -той исследуемой точке;

i – порядковый номер результата наблюдения x' .

Для исходных данных по табл. 1 поправки q_i составили значения, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Рассчитанные значения поправки в исследуемых точках

Задаваемое давление, кгс/см ²	Ход	Среднее арифметическое значение поправки
0	Прямой	-0,0117
0	Обратный	-0,0117
2	Прямой	0
2	Обратный	-0,0044
4	Прямой	0,0068
4	Обратный	-0,0018
6	Прямой	-0,0002
6	Обратный	-0,0093
8	Прямой	-0,0185

8	Обратный	-0,0277
10	Прямой	-0,0591
10	Обратный	-0,0591

Исправленные результаты наблюдений внесены в табл. 3.

Таблица 3

Исправленные результаты наблюдений по измерительному каналу давления

Номер точки нагружения	Задаваемое давление, кгс/см ²	Ход	Исправленные результаты наблюдений по измерительному каналу, кгс/см ²				
			1	2	3	4	5
1	0	Прямой	0	0	0	0	0
	0	Обратный	0	0	0	0	0
2	2	Прямой	1,9956	2,0005	2,0091	1,9993	1,9956
	2	Обратный	1,9961	2,0022	2,0096	1,9998	1,9924
3	4	Прямой	3,9973	4,0022	4,0047	3,9998	3,9961
	4	Обратный	3,9961	4,0010	4,0096	3,9985	3,9948
4	6	Прямой	5,9963	6,0049	6,0086	5,9963	5,9938
	6	Обратный	5,9958	5,9995	6,0106	5,9995	5,9946
5	8	Прямой	8,0000	8,0062	8,0037	7,9975	7,9926
	8	Обратный	7,9970	8,0007	8,0094	7,9983	7,9946
6	10	Прямой	10,0000	10,0062	10,0037	10,0000	9,9901
	10	Обратный	10,0000	10,0062	10,0037	10,0000	9,9901

Значения абсолютной погрешности измерений давления определяются согласно методологии ОСТ 92-4323:

$$\Delta = \pm(1,96\sqrt{D + \frac{H^2}{12}} + \Delta_{st}),$$

где D – дисперсия результатов наблюдений в исследуемой точке диапазона измерений;

H – вариация результатов наблюдений. В качестве оценки вариации принимается максимальное по модулю значение разности результатов наблюдений по прямому и обратному ходу;

Δ_{st} – приписанная погрешность эталонного средства измерительной техники.

Результаты расчетов Δ приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения абсолютной погрешности измерительного канала давления для доверительной вероятности

Задаваемое давление, кгс/см ²	Погрешность, кгс/см ²
0	±0
2	±0,016
4	±0,018
6	±0,025
8	±0,027
10	±0,032

Для определения неопределенности измерений аттестуемого средства измерительной техники предлагается расчет стандартной неопределенности измерений проводить по типу А для результатов многократных наблюдений, приведенных в табл. 3, и по типу В для данных калибровки эталонного средства измерительной техники, вариации результатов наблюдений, справочных данных, а также данных о систематической погрешности в случае, если поправки не вносились в результаты наблюдений.

Расчет стандартной неопределенности измерения давления по типу А u_A проводится по формуле

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}},$$

где n – количество результатов наблюдений;

\bar{x} – среднее арифметическое значение исправленных результатов наблюдения.

Расчет стандартных неопределенностей измерения давления по типу В проводится по формулам

$$u_{B,st} = \Delta_{st} / \sqrt{3},$$

где u_{Bst} – неопределенность измерения давления по типу В, обусловленная погрешностью эталонного средства измерительной техники;

$$u_{BH} = H/\sqrt{3},$$

где u_{BH} – неопределенность измерения давления по типу В, обусловленная вариацией результатов наблюдений;

H – вариация результатов наблюдений;

$$u_{Bs} = \Delta_s/\sqrt{3},$$

где u_{Bs} – неопределенность измерения давления по типу В, обусловленная систематической погрешностью Δ_s результатов наблюдений в случае, если поправки не вносились в результаты наблюдений.

Расчет суммарной стандартной неопределенности u_C проводится по формуле

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_{Bэм}^2 + u_{BH}^2}.$$

Полученные значения стандартных неопределенностей приведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты расчета стандартных неопределенностей измерений давления

Задаваемое давление, кгс/см ²	u_A	$u_{Bэм}$	u_{BH}	u_C
0	0	0	0	0
2	0,0029	0,0023	0,0018	0,0042
4	0,0016	0,0046	0,0028	0,0056
6	0,0029	0,0069	0,0031	0,0081
8	0,0024	0,0092	0,0033	0,0101
10	0,0027	0,0115	0	0

Эффективное число степеней свободы ν_{eff} вычисляются по формуле

$$\nu_{eff} = \frac{u_C^4}{\frac{u_A^4}{n-1} + \frac{u_{Bst}^4}{\infty} + \frac{u_{BH}^4}{\infty}}.$$

Расширенную неопределенность U_P вычисляют по формуле

$$U_P = t_p(\nu_{eff})u_C,$$

где $t_p(\nu_{eff})$ – квантиль распределения Стьюдента с эффективным числом степеней свободы ν_{eff} и доверительной вероятностью P .

Полученные значения ν_{eff} , $t_p(\nu_{eff})$ и результаты расчета расширенной неопределенности для доверительной вероятности $P=0,95$ приведены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты расчета расширенной неопределенности для доверительной вероятности

Задаваемое давление, кгс/см ²	ν_{eff}	$t_p(\nu_{eff})$	$U_{0,95}$
0	0	0	0
2	16,3443	2,120	0,0088
4	653,4778	1,960	0,0111
6	258,5638	1,960	0,0159
8	1313,0040	1,960	0,0198
10	1432,1294	1,960	0,0233

Сравнение полученных оценок границ интервала расширенной неопределенности измерений по предложенной методологии и границ интервала абсолютной погрешности измерений давления представлены на рис. 2, 3, 4.

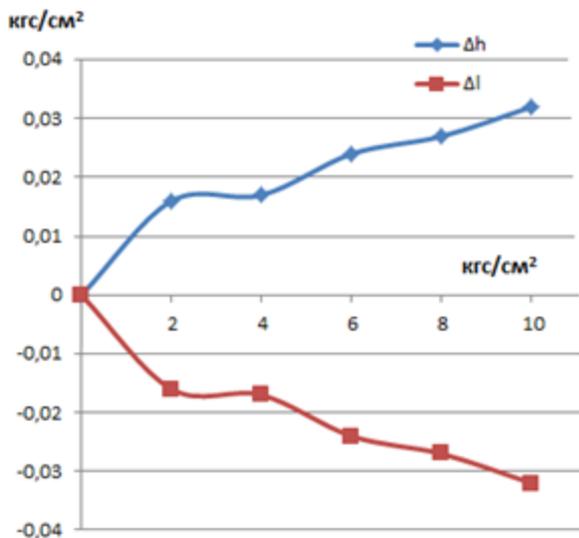


Рис. 2. Значения границ интервала абсолютной погрешности измерений:
 Δ_h – верхняя граница; Δ_l – нижняя граница

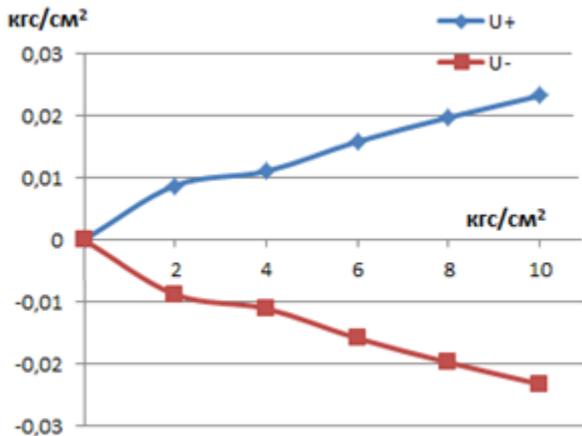


Рис. 3. Значения границ интервала расширенной неопределенности измерений:
 U_+ – верхняя граница; U_- – нижняя граница

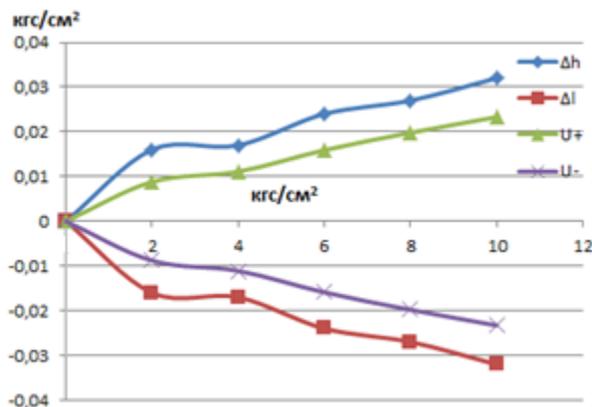


Рис. 4. Сравнительный график абсолютной погрешности и расширенной неопределенности измерений

При совмещении графиков с рис. 2 и 3 на рис. 4 видно, что графики для границ погрешности измерений и неопределенности измерений имеют схожий характер.

Выводы

Использование предлагаемой методологии обеспечит соответствие определяемых метрологических характеристик положениям международных нормативных документов.

Целесообразно ГП «КБ «Южное» на базе предложенной методологии разработать методические указания по расчету неопределенности при аттестации средств измерительной техники, а затем предложить соответствующий отраслевой методический документ ГКА Украины.

Статья поступила 01.11.2016