

УДК 006.91 : 006.015.7

Требования к метрологической надёжности средств измерения линейных размеров различного назначения

Ж.В. Кумова

Морская академия МГТУ, кафедра технологии металлов и судоремонта

Аннотация. В статье представлены результаты исследований мерительного инструмента с помощью критерия "запас метрологической надёжности", позволяющего дать точную оценку исправности средств измерений, применяемых на кафедрах высших учебных заведений технического профиля.

Abstract. Some results of researches of measuring tools using the criterion "metrological safety margin" have been presented in the paper. The criterion is considered to give an accurate estimate of gauges used at departments of higher education institutes of the technical profile.

Ключевые слова: средство измерения, измерительный инструмент, точность, поверка, погрешность, метрологическая аттестация, метрологический отказ, запас надёжности, среднеквадратическое отклонение

Key words: gauge, measuring tool, accuracy, verification, error, metrological certification, metrological refusal, safety margin, mean-square deviation

1. Введение

Высшие учебные заведения технического профиля, в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом, в процессе обучения осуществляют подготовку специалистов, производственно-технологическая деятельность которых предусматривает внедрение эффективных инженерных решений в практику, а также осуществление метрологической поверки основных средств измерений. В процессе подготовки будущих специалистов, производственного обучения в частности, наряду с современными высокотехнологичными средствами измерения (СИ) используется традиционный точный мерительный инструмент, служащий универсальным базовым СИ, к которому относят такие простые средства измерения линейных размеров, как штангенциркуль, микрометр, нутромер.

Результаты, представленные в статье, были получены в процессе ряда экспериментальных исследований на кафедре технологии металлов и судоремонта Мурманского государственного технического университета с помощью нового метода, который характеризует критерий "запас метрологической надёжности".

Актуальность проведённых исследований подтверждают полученные результаты, позволяющие оценивать метрологическую исправность средств измерений.

Новизна полученных результатов измерений заключается в том, что в ходе проведённых работ между значениями погрешности в "начале" и "конце" диапазона измерений линейных размеров существует принципиальная возможность выбора критерия "запас метрологической надёжности" (ЗМН) в качестве контролируемого параметра в учебном процессе и в научных исследованиях.

Цель исследования заключалась в определении и оценке допустимости основных метрологических характеристик, к которым принято относить систематическую и случайную погрешность средств измерений.

Многочисленные исследования дали возможность конкретно прогнозировать сроки для проведения поверок СИ с целью выявления оценки их технического состояния на данный момент времени.

2. Теоретические аспекты точности СИ

Самым распространённым и простым в использовании измерительным инструментом для определения линейных размеров является штангенциркуль, позволяющий получить довольно точные результаты, однако даже при использовании метрологически аттестованных измерительных инструментов имеет место погрешность измерения.

Согласно РМГ 29-99, характеристикой качества СИ является точность, отражающая близость его погрешности к нулю. Считается, что чем меньше погрешность, тем точнее средство измерений (РМГ 29-99, 2000).

Кроме того, даже при использовании точно настроенного измерительного инструмента, нельзя исключить возможность ошибки. Основными причинами, приводящими к неточностям измерений, являются неумение пользоваться инструментом (неквалифицированная работа оператора),

использование повреждённого инструмента (к примеру, со сбитой нулевой отметкой на шкале), загрязнение его рабочих поверхностей и самого измеряемого предмета, измерение нагретой или охлаждённой детали. Работая с таким СИ, как штангенциркуль, важно правильно держать инструмент перпендикулярно к детали, чтобы его губки плотно прилегали к измеряемой поверхности.

Непрофессиональные действия оператора отрицательно сказываются на результатах работы независимо от вида мерительного инструмента.

В качестве объекта экспериментального исследования использовался простой мерительный инструмент, с которым в ходе учебного процесса приходится сталкиваться постоянно, не имея при этом возможности произвести его метрологическую поверку с помощью специальных служб.

Выбор для исследования относительно простых СИ связан с тем, что их работоспособность в основном зависит от систематической погрешности, а случайная погрешность мала по величине, в отличие от других более сложных приборов. Например, коэффициент вариации электронного твердомера по данным равен $2.94/84.3 = 0.035$, а для штангенциркуля он составляет не более $0.015/30 = 0.00050$, т.е. в 70 раз меньше. Поэтому на примере таких СИ проще решать задачу (Ефремов, Кумова, 2012).

3. Требования к метрологической надёжности СИ

Исследования проводились поэтапно со СИ разного принципа действия и назначения по алгоритмам в редакторе MathCAD. Данные замеров вводились и обрабатывались в редакторе Excel. Формировалась матрица, через буфер цифровые данные её переносились в MathCAD, что послужило объектом обработки. Выполнялись расчёты систематических погрешностей (СИП), среднего квадратического отклонения (СКО) и ЗМН для исходных и исправленных выборок (без учета СИП). Производилось графическое построение плотности вероятности с помощью специального вида графиков, в которых участвует интервальная переменная Box-and-Whisker plot.

Вся опытно-экспериментальная работа по результатам измерений и обработке статистических данных измерений проводилась как в результате учебного процесса, так и для научных работ. Полученная информация отражена в протоколах испытаний (рис. 1).

Средство измерения (тип, марка)		ЩЦЦ-4-150		Число циклов			
Диагностический параметр, размерность		Внутренний диаметр		Доп. Погрешность			
Периодичность циклов испытаний		0.3 час		Год ввода 2007			
результаты измерений							
Номер	Дата	Включено	Выключено	Время	Измерения		
					ДП, г	Прг, г	Отн. ДП
1	14.06.2012	12:25	12:26	0:01	79.98	-0.02	0.99975
2	14.06.2012	12:26	12:27	0:01	79.99	-0.01	0.999875
3	14.06.2012	12:27	12:28	0:01	80.01	0.01	1.000125
4	14.06.2012	12:28	12:29	0:01	79.99	-0.01	0.999875
5	14.06.2012	12:29	12:30	0:01	79.98	-0.02	0.99975
6	14.06.2012	13:03	13:04	0:01	79.98	-0.02	0.99975
7	14.06.2012	13:04	13:05	0:01	79.99	-0.01	0.999875
8	14.06.2012	13:05	13:06	0:01	79.99	-0.01	0.999875
9	14.06.2012	13:06	13:07	0:01	79.98	-0.02	0.99975
10	14.06.2012	13:07	13:08	0:01	80.01	0.01	1.000125
11	14.06.2012	13:30	13:31	0:01	79.99	-0.01	0.999875
12	14.06.2012	13:31	13:32	0:01	80	0	1
13	14.06.2012	13:32	13:33	0:01	79.97	-0.03	0.999625
14	14.06.2012	14:31	14:32	0:01	80.02	0.02	1.00025
15	14.06.2012	14:32	14:33	0:01	80	0	1
16	14.06.2012	14:33	14:34	0:01	80.01	0.01	1.000125
17	14.06.2012	14:34	14:35	0:01	79.99	-0.01	0.999875
							2.208279
							0.986388
							1.6887
							0.954360

Рис. 1. Копия протокола испытаний

Запас метрологической надёжности СИ представляет собой квантиль двухпараметрического нормального распределения Z вероятности β недостижения предела погрешности h_a , учитывающий в общем случае изменение как систематической $h_{сп}$, так и случайной $\sigma_{сл}$ погрешности прибора.

$$Z = (h_a - h_{сп}) / \sigma_{сл} \Rightarrow \beta = \text{spnorm}(Z).$$

По правилу "трёх сигм" в статистике рекомендуемая доверительная вероятность $P = 0.99$ (доверительные границы $\pm 3\sigma$) соответствует запасу надёжности $Z_\beta = 3(\beta_z \approx 0.999)$. В зависимости от этого СИ имеет необходимое назначение и конструкцию.

В Основных положениях Руководства по выражению неопределённости измерения есть понятие коэффициента охвата, он представляет собой квантиль нормального распределения, равный 2 при односторонней вероятности 0.9775 (что соответствует двухсторонней вероятности 0.95).

Ориентируясь на эти данные и условную классификацию СИ по признаку последствий отказов, принимаем нормы требований по надёжности по табл. 1.

Следовательно, для большинства СИ приемлема норма $Z_H = 2$, а для учебных она составляет $Z_H = 1$. Решение этой проблемы зависит от соотношения фактического, верхнего и нижнего уровней ЗМН и других факторов (Ефремов, 2011).

Таблица 1. Нормы требований по надёжности

Категория	Z_H	β	Требования по надёжности	Пример назначения СИ
Первая	3	0.9987	Высокие	Контроль жизнедеятельности
Вторая	2	0.9772	Умеренные	Бытовые приборы
Третья	1	0.8414	Невысокие, но допустимые	Учебные СИ

В ходе проведённых экспериментальных исследований решалась задача для измерений одних и тех же опорных размеров (плоскопараллельной концевой меры) пятью вариантами СИ.

Для штангенциркулей с отсчётом показаний по нониусу получены высокие значения ЗМН ввиду малых величин систематической погрешности и среднеквадратического отклонения (СКО) относительно умеренных требований к пределу допускаемой погрешности. Высокая надёжность этих инструментов позволяет использовать их не только в учебном процессе, но в и научной работе, на производстве при техническом контроле деталей с соответствующими качествами.

Относительно штангенциркуля с цифровым дисплеем (ШЦЦ-I-150) получены совершенно недопустимо малые значения ЗМН, что связано с большим значением СКО. При этом было обнаружено необычное поведение погрешности (рис. 2). Из 25 измерений четыре значения отклонилось от нуля на очень большую величину – 0.1 мм.

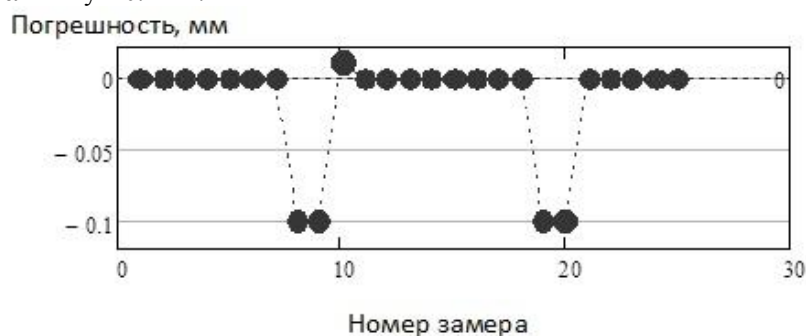


Рис. 2. Выбросы погрешности штангенциркуля ШЦЦ-I-150

Это явление связано со сбоем передачи сигнала от перемещения каретки на цифровой дисплей и называется "выбросом", отсев которого производится специальными методами при многократных измерениях.

Метрологической надёжности микрометров в целом можно дать хорошую оценку, учитывая достаточно жёсткие требования к их пределам погрешности, что видно из табл. 2.

Наиболее надёжным оказался простейший микрометр с нониусом, для которого получено нулевое СКО и наивысший ЗМН = 6. Микрометр с электронным дисплеем и рычажный микрометр со стрелочным индикатором имеют небольшую систематическую и случайную погрешность, что обеспечивает допустимый ЗМН = 2 (Ефремов, Кумова, 2013).

В соответствии с РМГ 29-99 "Метрология. Основные термины и определения", цель надёжности следует понимать как надёжность СИ в части сохранения его метрологической исправности, которая, в свою очередь, характеризует состояние СИ, где все нормируемые метрологические характеристики соответствуют требованиям.






Метрологический отказ СИ приведёт к тому, что значение погрешности СИ превысит допустимую норму.

4. Заключение

Использование данных, полученных в результате исследований, весьма эффективно для проведения дальнейшей поверки учебных средств измерений линейных размеров различного назначения – в качестве основных (базовых) результатов для оценки запаса метрологической надёжности мерительного инструмента. Кардинально решать данную задачу позволяет методика оценки и прогнозирования исправности СИ при помощи критерия "запас метрологической надёжности".

Представляется эффективным планировать измерения погрешности, ориентируясь на результаты расчёта на базе математической статистики с помощью указанного критерия.

Таблица 2. Метрологические характеристики различного вида СИ

ПРИБОР	Марка	Мера	ПДП	СиП	СКО	Размах	ЗМН1	ЗМН2
 Штангенциркуль с нониусом	ШЦ-III-160-0.05	40	0.05	0.004	0.011	0.05	4.167	4.49
	ШЦ-II-250-0.1	30	0.08	-0.002	0.013	0.01	5.88	6
 Штангенциркуль цифровой	ШЦЦ-I-150	30	0.03	-0.016	0.038	0.11	0.382	0.797
 Микрометр гладкий	МК 50-1	30	0.004	0.001	0.003	0.01	1.156	1.445
		40	0.004	0	0.001	0	6	6
 Микрометр цифровой	МКЦ 50	30	0.002	0.001	0.001	0.003	1.17	2.25
 Микрометр рычажный	МР 50-1	30	0.002	-0.0055	0.001	0.004	-3.463	1.99

Литература

- Ефремов Л.В.** Вероятностная оценка метрологической надёжности средств измерений: алгоритмы и программы. СПб., Нестор-История, 200 с., 2011.
- Ефремов Л.В., Кумова Ж.В.** Влияние человеческого фактора на метрологическую надёжность мерительного инструмента. *Динамика научных исследований – 2012. Мат. VIII между. науч.-практ. конф. Технические науки, Przemysł, 7-15 июля*, с. 25-27, 2012.
- Ефремов Л.В., Кумова Ж.В.** Метрологическая оценка надёжности мерительного инструмента учебного и научного назначения. *Изв. вузов. СПб., Приборостроение ИТМО, № 3*, с. 30-35, 2013.
- РМГ 29-99. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. М., ИПК Издательство стандартов, 46 с., 2000.