

конечного измерения. Для вычисления неопределенности измерений диаметра воспользуемся формулой (2):

$$U_D = \sqrt{2U_U^2 + 2U_I^2 + 2U_C^2 + 2U_S^2 + 2U_N^2 + 2U_M^2 + U_W^2 + U_{PT}^2}$$

Измерение этом риску деформации диаметра шара. Для более точных измерений требуется большое количество данных. Рассчитаем диаметр шара диаметра на микроскопе является одним из точных способов измерения, не подвергая при и произведем расчет неопределенности измерений. Все измерения представлены в таблице (табл. 1).

Таблица 1 – Расчет неопределенности измерения диаметра шара

X_i	x_i	$0,5R_i$	k^*	$u(X_i)$	c_i	$u_i(Y)$
O_2	64,7285	$7,4 \cdot 10^{-4}$	2	$3,7 \cdot 10^{-4}$	1	$3,7 \cdot 10^{-4}$
P_{r2}	0	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$\sqrt{3}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$	1	$0,3 \cdot 10^{-4}$
P_{s2}	0	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$\sqrt{3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	1	$2,9 \cdot 10^{-4}$
P_{n2}	0	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$\sqrt{3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	1	$2,9 \cdot 10^{-4}$
P_{m2}	0	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$\sqrt{3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	1	$2,9 \cdot 10^{-4}$
O_1	10,4273	$7,4 \cdot 10^{-4}$	2	$3,7 \cdot 10^{-4}$	-1	$-3,7 \cdot 10^{-4}$
P_{r1}	0	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$\sqrt{3}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$	-1	$-0,3 \cdot 10^{-4}$
P_{s1}	0	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$\sqrt{3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	-1	$-2,9 \cdot 10^{-4}$
P_{n1}	0	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$\sqrt{3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	-1	$-2,9 \cdot 10^{-4}$
P_{m1}	0	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$\sqrt{3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	-1	$-2,9 \cdot 10^{-4}$
P_{wz}	0	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$\sqrt{3}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	1	$4,3 \cdot 10^{-4}$
P_t	0	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$\sqrt{3}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	1	$1,4 \cdot 10^{-4}$
D	54,3012	–	–	–	–	$9,94 \cdot 10^{-4}$

$$U_D = u_D = 0,001988 = 0,002 \text{ мм}; D = (54,3012 \pm 0,002) \text{ мм}$$

Литература

1. Касьянов, В. А. Физика. 11 кл.: учебн. для общеобразоват. учеб. заведений / В. А. Касьянов. – М.: Дрофа, 2002.
2. Arendarski J. Niepewność pomiarów. – Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003.

УДК 658

АТОМНЫЕ СТАНДАРТЫ ЧАСТОТЫ ФОНТАННОГО ТИПА, РАЗРАБОТАННЫЕ ВО ФГУП «ВНИИФТРИ»

Мл. научный сотрудник Купалова О. В.,

начальник отдела, кандидат техн. наук Купалов Д. С., ст. научный сотрудник Бойко А. И.
Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Менделеево, Солнечногорский район, Московская область, Россия

В настоящее время в состав Государственного первичного эталона единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2022 входят метрологический цезиевый репер частоты фонтанного типа (МЦР), который воспроизводит размер секунды в соответствии с его определением в международной системе СИ. Основной метрологической характеристикой МЦР является относительная неисключенная систематическая погрешность, не превышающая $2,5 \cdot 10^{-16}$. Хранение национального размера времени осуществляется ансамблем водородных генераторов и рубидиевыми реперами частоты фонтанного типа. Среднее квадратическое относительное двухвыборочное отклонение (СКДО) рубидиевых реперов составляет менее $2 \cdot 10^{-16}$ на интервале времени измерения 16 суток.

В докладе представлены конструкция стандартов частоты фонтанного типа (рис.1), принцип работы, их характеристики [1–3]. Приведена независимая оценка точностных характеристик МЦР по ежемесячным отчетам Международного Бюро Мер и Весов.



Рис. 1. Компьютерная модель атомного спектроскопа

Литература

1. Domnin, Yu.; Baryshev, V.; Boyko, A.; Elkin, G.; Novoselov, A.; Kopylov, L.; Kupalov, D., "The MTsR-F2 fountain-type cesium frequency standard", *Measurement Techniques*. 2013. – Vol. 55. – № 10. – P. 1155–1162.
2. Бюджет неопределенностей цезиевого репера частоты фонтанного типа / И. Ю. Блинов [и др.] // *Измерительная техника*. – 2017. – № 1. – С. 23–27.
3. Хранительшь единиц времени и частоты на основе «фонтана» атомов рубидия / Д. С. Купалов [и др.] // *Альманах современной метрологии*. – 2018. – № 15. – С. 31–41.

УДК006.91

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Студент гр. 11305119 Кухарчук М. С.

Д-р техн. наук, профессор Соломахо В. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Наиболее распространенными измерительно-вычислительных системами, гарантирующими высокое качество измерений, являются машины типа ATOS и КИМ.

Общий принцип действия координатно-измерительных машин состоит в том, что объект измерения сканируется по точкам щупом со сферическим наконечником. При каждом касании щупа измерительным элементом считывается смещение на координатных осях.

Преимуществами КИМ являются высокая точность, автоматизация процесса и то, что контролируемый объект не требует предварительной подготовки. Однако из-за специфики устройства и способа получения данных, данная система обладает рядом существенных недостатков: отсутствие числовых данных о размере объекта, необходимых для проведения процесса измерения, требуется квалифицированный исполнитель, требуется дорогостоящая оснастка.

Бесконтактный метод измерения характеризуется отсутствием измерительного контакта прибора с проверяемым объектом. В последнее время получил большое распространение такой бесконтактный метод, как оптическое сканирование.

В основе действия оптической системы ATOS лежит принцип TripleScan. В процессе получения цифрового изображения на поверхность измеряемого объекта проецируются интерференционные полосы, после чего камеры фиксируют полученные изображения. В процессе калибровки и наладки определяется положение и угол этих камер. Из огромного числа полученных точек по принципу триангуляции вычисляются трехмерные координаты. Законченное измерение состоит из нескольких отдельных видов, которые с помощью самоклеящихся точечных маркеров система ATOS преобразует каждый отдельный вид в систему координат объекта, распознавая расположение точечных маркеров.