

6. **Hohne Z. U., Mohwald H.** The influence of counterions and hydrophobic moieties on the thermostability of Langmuir-Blodgett multilayers // *Thin Solid Films*. 1994. V. 243. N 1—2. P. 425—430.

7. **Pietsch Z. U. e. a.** The domain structure of LB multilayers prepared from fatty acid salts // *Thin Solid Films*. 1996. V. 284/285. P. 387—391.

8. **Yang B., Qiao Y.** Structural characterization of Langmuir-Blodgett films by X-ray diffraction in transmission geometry // *Thin Solid Films*. 1998. V. 330. N 2. P. 157—160.

9. **Prakash M., Ketterson J. B., Dutta P.** Study of in-plane structure in lead-fatty acid LB films using X-ray diffraction // *Thin Solid Films*. 1985. V. 134. P. 1—4.

10. **Barberka T. A. e. a.** Investigation of the in-plane structure of Pb and Ni stearate multilayers by means of grazing incidence X-ray diffraction // *Thin Solid Films*. 1994. V. 244. P. 1061—1066.

11. **Malik A. e. a.** Structures of head-group and tail-group monolayers in a Langmuir-Blodgett film // *Phys. Rev. B*. 1995. V. 52. N 16. PR11654—R11657.

12. **Rothberg L. e. a.** Thermal disordering of Langmuir-Blodgett films of cadmium stearate on sapphire // *Chem. Phys. Lett.* 1987. V. 133. N 1. P. 67—72.

13. **Kenn R. M., Tippmann-Krayer P., Mohwald H.** Thickness and temperature dependent structure of Cd arachidate Langmuir-Blodgett films // *Thin Solid Films*. 1992. V. 210—211. N 2. P. 577—582.

14. **ГОСТ 8.531—2002.** ГСИ. Стандартные образцы состава монолитных и дисперсных материалов. Способы оценивания однородности.

15. **Р 50.2.031—2003.** ГСИ. Рекомендации по метрологии. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Методика оценивания характеристики стабильности.

16. **Хейкер Д. М. и др.** Станция белковой кристаллографии на пучке СИ из поворотного магнита накопителя «Сибирь-2» // *Кристаллография*. 2007. Т. 52. С. 374—380.

17. **Sulyanov S. N., Popov A. N., Kheiker D. M.** Using a two-dimensional detector for X-ray powder diffractometry // *J. Appl. Cryst.* 1994. V. 27. P. 934—942.

Дата принятия 05.02.2013 г.

ЛИНЕЙНЫЕ И УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

621.9.08

Модернизированный базовый универсальный набор концевых мер

А. П. ФОТ, В. И. ЧЕПАСОВ, И. И. ЛИСИЦКИЙ

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия, e-mail: fot@mail.osu.ru

Предложена методика совершенствования универсальных наборов плоскопараллельных концевых мер, широко используемых в различных отраслях машиностроения. На основе анализа существующих наборов концевых мер разработан оригинальный алгоритм проектирования универсальных наборов с улучшенными характеристиками, обеспечивающий удобство их эксплуатации.

Ключевые слова: плоскопараллельная концевая мера, набор мер.

An improvement procedure for the universal sets of plane-parallel end measures widely used in various branches of mechanical engineering is suggested. On the base of the existing sets of end measures analysis an original algorithm of design of universal sets with improved characteristics ensuring the convenience of operation is developed.

Key words: plane-parallel end measure, set of measures.

Существуют наборы стальных плоскопараллельных концевых мер различных производителей, например, Южно-Уральского инструментального завода «КАЛИБР», Кировского завода «Красный инструментальщик» (Россия), Mitutoyo Corporation (Япония), Hexagon Metrology TESA (Швейцария) и др. Для поверки определенных изделий и измерительных приборов (проволочек, микрометров, штангенинструмента, опикаторов) используют специальные и универсальные стандартные наборы концевых мер [1], в которых требуемый размер (составленный размер) в широком диапазоне может быть получен сложением (притиранием) нескольких

концевых мер набора в разных сочетаниях. Достоинством наборов является удобство получения составленных размеров благодаря группам мер с фиксированным шагом размеров: 0,005; 0,010; 0,100; 0,500; 1,000; 10,000 мм. Однако согласно проведенному анализу [2, 3] в универсальных наборах используется избыточное количество концевых мер для получения составленных размеров, что ведет к увеличению массы и стоимости наборов. Известны наборы концевых мер (и предложения по составлению наборов) [2, 3], которые по сравнению с универсальными наборами позволяют расширить диапазон измерений (интервал ряда составленных

размеров с заданным шагом) при сохранении количества мер в наборе. Также существуют эффективные наборы (и предложения по их составлению) концевых мер пониженной металлоемкости [4, 5]. Недостатком перечисленных наборов является сложность подбора мер в блоках, обусловленная специфичностью размеров мер.

Результаты исследований [2—13] послужили основой для разработки оригинального алгоритма проектирования универсальных наборов плоскопараллельных концевых мер. Алгоритм позволяет обеспечить как расширение технологических возможностей наборов, так и удобство их эксплуатации в производственной практике (составленные размеры получают не более чем из пяти мер набора).

В высокоэффективных, с точки зрения металлоемкости, наборах по алгоритму [4, 5] размеры всех мер (элементов) в группах подчинены зависимостям

$$A_{1-m} = A_{n-(m-1)} + \delta_{(m-1)}; A_{nm-m} = A_{1-m} + (n_m - 1) \delta_m, \quad (1)$$

где A_{1-m} — размер первого элемента группы номер m ; $A_{n-(m-1)}$, $\delta_{(m-1)}$ — размер последнего элемента и шаг размеров мер группы номер $m - 1$; A_{nm-m} , n_m , δ_m — размер последнего элемента, количество элементов и шаг размеров мер группы номер m .

Наиболее высокими техническими характеристиками (границами ряда составленных размеров с заданным шагом, количеством составленных размеров и др.) обладают наборы из пяти групп, в которых количество элементов в группах будет

$$n_1 = (K_1 \delta_1 - A_{11}) / \delta_1 + 1; n_m = [K_m \delta_m - (K_{(m-1)} + 1) \delta_{(m-1)}] / \delta_m + 1, \quad (2)$$

где n_1 , n_m — количество элементов первой группы и группы номер m , соответственно; K_1 , $K_{(m-1)}$, K_m — отношения размера последнего элемента группы к шагу размеров мер данной группы для групп номер 1, $m - 1$, m , соответственно; A_{11} — размер первого элемента первой группы набора; δ_1 , $\delta_{(m-1)}$, δ_m — шаг размеров мер в соответствующих группах.

При этом значения K_1 , ..., K_m определяются как

$$K_m = A_{nm-m} / \delta_m \quad (3)$$

и согласно проведенному авторами анализу размеров мер в группах многих наборов находятся в следующих интервалах: $100 \leq K_1 \leq 201$; $51 \leq K_2 \leq 150$; $8 \leq K_3 \leq 20$; $5 \leq K_4 \leq 50$; $1 \leq K_5 \leq 10$, и сочетание их значений должно удовлетворять условию

$$K_1 [1 - \delta_1 / \delta_2] + \dots + K_{(m-1)} [1 - \delta_{(m-1)} / \delta_m] + K_m = (N - 5) + A_{11} / \delta_1 + [\delta_1 / \delta_2 + \dots + \delta_{(m-1)} / \delta_m], \quad (4)$$

где N — общее количество элементов в наборе, $N = n_1 + \dots + n_5$.

Реализация алгоритма (проектирование набора) осуществляется в следующем порядке: назначение исходных данных; определение количества мер в группах; определение размеров мер набора; определение характеристик набора.

Пример.

Выбираем размер первой меры первой группы $A_{11} = 0,5$ мм.

Задаем значения шагов размеров мер в группах набора: δ_1 , δ_2 , δ_3 , δ_4 , δ_5 соответственно равны 0,005; 0,010; 0,100; 0,500; 10,000 мм.

Определяем для каждой группы значения $K_1 = 137$; $K_2 = 79$; $K_3 = 14$, $K_4 = 19$; $K_5 = 10$ (выбираем из рекомендуемых интервалов так, чтобы расчетные значения n_1 , ..., n_5 были целыми положительными).

Рассчитываем количество мер в группах согласно зависимости (2): $n_1 = 38$; $n_2 = 11$; $n_3 = 7$; $n_4 = 17$; $n_5 = 10$.

Находим общее количество N мер в наборе как сумму количества мер в группах: $N = 83$.

Проверяем условие (4) по значениям левой и правой частей равенства и получаем $178,85 = 178,85$.

Определяем размеры наименьшей и наибольшей мер набора (в группах 1—5) по (1): $A_{11} = 0,5$ мм; $A_{12} = 0,69$ мм; $A_{13} = 0,8$ мм; $A_{14} = 1,5$ мм; $A_{15} = 10$ мм; $A_{n1-1} = 0,685$ мм; $A_{n2-2} = 0,79$ мм; $A_{n3-3} = 1,4$; $A_{n4-4} = 9,5$; $A_{n5-5} = 100$ мм.

Находим размеры всех остальных мер набора с учетом размеров первых мер и шагов размеров мер в соответствующей группе (табл. 1).

Таблица 1

Параметры предлагаемого набора (83 меры, 5 групп)

№ группы	Количество мер в группе	Шаг размеров мер, мм	Минимальный и максимальный размеры мер, мм
1	38	0,005	0,500; 0,685
2	11	0,010	0,690; 0,790
3	7	0,100	0,800; 1,400
4	17	0,500	1,500; 9,500
5	10	10,000	10,000; 100,000

Если в исходных данных проектирования вводится ограничение на N , то K_1 , ..., K_m из (3) устанавливаются согласно условию (4), которое приводится к диофантовому уравнению и решается в целых числах на ЭВМ по специальной программе. Программа дает несколько вариантов сочетаний K_1 , ..., K_m , для каждого из которых формируются наборы и определяются их технические характеристики. Выбор оптимального набора осуществляется в результате сравнения характеристик.

В табл. 2 представлен набор мер по алгоритму, предложенному в [4, 5], а в табл. 3 — по [1]. Как и в предлагаемом наборе (см. табл. 1), известные наборы состоят из 83 мер, размеры наибольших меры и блока соответственно 100 и 400 мм, допускают получение ряда составленных размеров с шагом 0,005 мм.

Таблица 2

Набор мер согласно [4, 5] (83 меры, 5 групп)

№ группы	Количество мер в группе	Шаг размеров мер, мм	Минимальный и максимальный размеры мер, мм
1	21	0,005	0,500; 0,600
2	57	0,105	0,700; 6,580
3	3	6,180	12,655; 25,015
4	1	—	49,520
5	1	—	98,525

Таблица 3

Набор мер согласно [1] (83 меры, 5 групп)

№ группы	Количество мер в группе	Шаг размеров мер, мм	Минимальный и максимальный размеры мер, мм
1	2	0,005	1,005; 1,010
2	48	0,010	1,020; 1,490
3	4	0,100	1,600; 1,900
4	19	0,500	0,500; 9,500
5	10	10,000	10,000; 100,000

Для сравнительной оценки наборов используют следующие характеристики: суммарную длину мер (СДМ); минимальный составленный размер (МСП) ряда размеров с заданным шагом (нижняя граница ряда), а также наибольший такой же размер (НСР) (верхняя граница ряда); количество составленных размеров (КСР) непрерывного ряда; доля составленных размеров (ДСР5) из пяти мер; удобство эксплуатации (УЭ) набора (удобство составления требуемого размера из мер набора).

Удобство эксплуатации набора характеризуется возможностью использования для получения составленных размеров наименьшего количества мер и минимальными затратами времени на поиск этих мер в наборе, определяющими производительность пользователя. Как правило, в большинстве существующих наборов в блок входит не более пяти мер, причем их выбор осуществляется по принципу исключения из желаемого составленного размера как можно большего количества разрядов цифр (начиная с низшего разряда). Покажем это на примере получения составленного размера 123,985 мм.

Для набора мер согласно [1] (см. табл. 3) сначала выбираем меру 1,005 мм, чтобы исключить из требуемого размера тысячные доли. Новое значение — 122,980 мм. Далее исключаем следующий разряд цифр и выбираем меру 1,480 мм. Новый размер 121,500 мм позволяет использовать меру 1,500 мм (исключаем разряд десятых долей), затем 20 мм (исключаем десятки) и 100 мм. В итоге для получения размера необходимо выбрать всего пять мер: $100 + 20 + 1,500 + 1,480 + 1,005 = 123,985$.

Для набора мер согласно предлагаемому алгоритму (см. табл. 1) принцип исключения разрядов цифр в составленном размере сохраняется: $123,985 - 0,685 = 123,300$ (исключены разряды тысячных и сотых); $123,300 - 1,300 = 122,000$ (исключен разряд десятых); $122,000 - 2,000 = 120,000$ (исключен разряд единиц); $120 - 20 = 100$ (исключен разряд десятков); $100 - 100 = 0$. Таким образом, необходимо также пять концевых мер.

В высокоэффективном (по металлоемкости) наборе (см. табл. 2) принцип исключения разрядов неприменим, так как во всех группах данного набора размеры мер могут содержать цифры всех разрядов (тысячные, сотые, десятые и т. д.). В стандартном и предлагаемом наборах размеры мер в каждой группе имеют ограниченное число разрядов (например, в группах 3 и 4 предлагаемого набора только единицы и десятые доли единиц). Сочетание мер в наборе (см. табл. 2) является в определенном смысле уникальным — размер 123,985 может быть получен из четырех мер: $123,985 = 98,525 + 18,835 + 6,055 + 0,570$. При этом время выбора мер для получения составленного размера увеличивается, несмотря на то, что число мер меньше (требуемый размер получают методом проб и ошибок при проверке многих вариантов сочетания мер). Таким образом, стандартный и предлагаемый наборы мер можно считать удобными, а набор по [4, 5] — неудобным.

Расширение технологических возможностей в результате применения модернизированных наборов подтверждается данными табл. 4. В ней приведено сравнение характеристик наборов мер по алгоритму [4, 5], стандартного по [1] и предлагаемого с учетом ранговой оценки (для каждого значения параметра устанавливается ранг, причем ранг 1 соответствует минимальному значению). Из табл. 4 следует, что

набор мер по [4, 5] эффективнее стандартного и предлагаемого в части металлоемкости (параметр СДМ). Однако предлагаемый набор имеет более высокий ранг по сравнению как с набором по [4, 5], так и с набором по [1]. Модернизированный набор, как и стандартный, удобен в эксплуатации, но при меньшей металлоемкости имеет расширенные технологические возможности (увеличенный ряд составленных размеров; большее КСР; меньшее КСР, получаемых из пяти мер).

Таблица 4

Сравнительная оценка различных наборов концевых мер

Характеристика набора	Набор					
	по [4, 5]		по [1]		предлагаемый	
	значение характеристики	ранг	значение характеристики	ранг	значение характеристики	ранг
СДМ, мм	423,580	3	714,255	1	681,855	2
МСП, мм	1,005	2	2,000	1	1,000	3
НСР, мм	180,240	1	202,510	3	202,190	2
КСР, ед.	35848	1	40103	2	40239	3
ДСР5, %	31,9924	1	21,1705	2	19,7271	3
УЭ	неудобно	1	удобно	2	удобно	2
Суммарный ранг	—	9	—	11	—	15

Примечание. Полу жирным шрифтом показаны нижние границы наибольшего ряда составленных размеров с заданным шагом 0,005 мм; для предлагаемого набора определяется одной мерой размером 1 мм.

Итак, количественно оценив преимущества предлагаемого набора перед стандартным, можно отметить следующее: уменьшаются металлоемкость набора на 4,75 % и доля блоков, составляемых из пяти мер, на 1,44 %; увеличивается интервал наибольшего ряда размеров с шагом 0,005 мм на 0,34 %, количество возможных блоков мер без повторения размеров блоков — на 0,73 % и количество размеров блоков с шагом 0,005 мм — на 14,78 %.

Выводы. Важной характеристикой универсальных наборов плоскопараллельных концевых мер наряду с параметрами металлоемкости и ряда составленных размеров является удобство эксплуатации, определяющее производительность пользователя наборов. Существующие универсальные наборы мер могут быть усовершенствованы при использовании алгоритма проектирования, построенного на взаимосвязях количества групп набора и мер в группах, размеров и шага размеров мер в группах.

Литература

- ГОСТ 9038—90. Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия.
- Пат. 2307996 РФ. Набор концевых мер и щупов / А. П. Фот, А. А. Муллабаев, И. И. Лисицкий // Изобретения. Полезные модели. 2007. № 28.
- Пат. 2392580 РФ. Набор концевых мер / А. П. Фот и др. // Изобретения. Полезные модели. 2010. № 17.

4. Фот А. П., Чепасов В. И., Муллабаев А. А. Проектирование наборов плоскопараллельных концевых мер с учетом комплексного критерия оптимизации // Интеллектуальные системы в производстве. 2012. № 1. С. 138—145.

5. Фот А. П., Чепасов В. И. О способах оптимизации наборов плоскопараллельных концевых мер // Законодательная и прикладная метрология. 2012. № 5. С. 25—30.

6. Муллабаев А. А., Фот А. П. Оптимизация наборов концевых мер // Вестник Оренбург. гос. ун-та. 2005. № 4. С. 156—158.

7. Муллабаев А. А., Фот А. П., Павлов С. И. Об использовании математического моделирования в некоторых задачах машиностроения // Вестник Оренбург. гос. ун-та. 2006. № 2. С. 75—82.

8. Свид. об офиц. регистрации программы для ЭВМ № 2009611695 «Метод половинного шага в решении оптимизационных задач механики» / А. А. Муллабаев и др. (RU) // Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем. 2009. № 2. С. 399.

9. Свид. об офиц. регистрации программы для ЭВМ № 2009614644 «Программа по получению массива калиброванных размеров» / В. И. Чепасов, А. П. Фот, А. А. Муллабаев (RU) // Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем. 2010. № 4. С. 262—263.

10. Чепасов В. И., Муллабаев А. А., Фот А. П. Программный комплекс по построению и оптимизации массива калиброванных размеров: Монография. М.: Руссервис, 2010.

11. Чепасов В. И., Муллабаев А. А., Фот А. П. Генерация калиброванных размеров исходного набора // Вестник Оренбург. гос. ун-та. 2010. № 1. С. 154—151.

12. Чепасов В. И., Муллабаев А. А., Фот А. П. Оптимизация количества калиброванных размеров // Вестник Оренбург. гос. ун-та. 2010. № 2. С. 168—171.

13. Чепасов В. И., Муллабаев А. А., Фот А. П. Генерация калиброванных размеров с использованием регрессионных ограничений // Вестник Оренбург. гос. ун-та. 2011. № 4. С. 179—185.

Дата принятия 13.05.2013 г.

621.00.56

Исследование влияния температурных деформаций на точность линейных измерений

О. С. БАШЕВСКАЯ*, С. В. БУШУЕВ*, Ю. В. ПОДУРАЕВ*, М. Г. КОВАЛЬСКИЙ**,
Г. Б. КАЙНЕР**, Е. В. РОМАШ*

* Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия,
e-mail: bashevskaya@yandex.ru

** ОАО «НИИИзмерения», Москва, Россия

Рассмотрено влияние температурных деформаций конструктивных элементов измерительных систем на процесс контроля прецизионных деталей. Предложен и опробован метод определения температурной деформации измерительной стойки, который можно применить к приборам, используемым для линейных измерений в нанометровом диапазоне.

Ключевые слова: линейный размер, нанометровый диапазон, температурные деформации.

The influence of temperature deformation of construction elements of measuring instruments on the high-precision components control process is considered. A method of determination of measuring stand temperature deformation is suggested and tested. This method is applicable to the instruments used for linear measurements in nanometer range.

Key words: linear size, nanometer range, temperature deformations.

На погрешность линейных измерений существенное влияние оказывают изменения температуры окружающей среды, вызывающие температурные деформации (ТД) объекта измерений, механических звеньев и соединений используемой измерительной системы (ИС) [1]. Ранее при определении температурных погрешностей измерений предполагали одинаковым воздействие температуры на элементы ИС и объект измерений. Развитие нанотехнологий обусловило необходимость продолжения исследований в этой области, направленных на обеспечение единства измерений в нанометровом диапазоне 1—100 нм согласно [2]. В последнее время опубликованы результаты исследований, касающиеся определения погрешностей, вызванных ТД объектов измерений, измерительных приборов и используемых установочных мер длины [3—5]. Целью дальнейших исследований, обобщенные результаты которых приведены в данной ста-

тье, является разработка и экспериментальная проверка эффективности методики определения ТД важного элемента ИС — измерительной стойки, предназначенной для крепления датчиков линейных перемещений или измерительных приборов с такими датчиками.

Современное поколение ИС, предназначенных для измерений в микро- и нанодиапазонах, отличается рядом конструктивных особенностей [6—10], в частности, сложной пространственной конфигурацией измерительной стойки с закрепленным на ней средством измерений, влияющей на ТД в реальных эксплуатационных условиях. Измерительные стойки состоят из нескольких связанных элементов разных форм, габаритных размеров и изготовленных из различных материалов. Например, использованная в эксперименте стойка имеет С-образную форму и состоит из нескольких частей.