УДК 621.9.08

А. П. Фот, доктор технических наук, профессор;
В. И. Чепасов, доктор технических наук, профессор;
А. А. Муллабаев, доктор технических наук, профессор
Оренбургский государственный университет

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАБОРОВ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫХ КОНЦЕВЫХ МЕР С УЧЕТОМ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ

Приведены результаты анализа выходных характеристик известных и экспериментальных наборов плоскопараллельных концевых мер, предложен алгоритм проектирования наборов с учетом комплексного показателя критерия оптимизации.

Ключевые слова: мера концевая, набор концевых мер, алгоритм получения размеров концевых мер

Наборы плоскопараллельных концевых мер широко используются в машиностроении, например, для настройки стрелочных и других измерительных приборов, причем наборы мер могут быть специальными и универсальными. В первых число составленных размеров равно числу мер в наборе, в связи с чем такие наборы имеют ограниченное применение. Более распространены универсальные наборы, где каждый составленный размер получается из притертых друг к другу нескольких концевых мер в различных сочетаниях из мер, имеющихся в наборе (как правило, для получения составленного размера используется не более пяти мер). В общем случае возможное количество сочетаний мер (составленных размеров из 1, 2, 3, 4 и 5 мер) весьма велико, но получаемый при этом ряд составленных размеров содержит отдельные отрезки, в которых соседние составленные размеры отличаются на определенную величину – шаг ряда (в существующих наборах значение шага задают равным 0,0001…0,005 мм), и отрезки, где шаг не отвечает заданному. Чем больше величина отрезка ряда с постоянным заданным шагом, тем больше составленных размеров можно получить из мер данного набора, причем меньшее количество мер в наборе является экономически очень выгодным (меры требуют для изготовления высокоточного технологического оборудования и измерительного инструмента, дорогостоящих материалов, подвергаются специальной упрочняющей обработке). Учитывая сказанное, в качестве критерия оптимизации при проектировании наборов авторами предлагается использовать количество составленных размеров в наибольшем отрезке ряда (из имеющегося ряда сочетаний) с заданным шагом, минимальное и максимальное значения составленного размера в упомянутом отреке и суммарную длину мер набора.

Прямая задача минимизации общего числа мер в наборе при заданном количестве составленных размеров поставлена давно, но до настоящего времени аналитически не решалась. Авторами данной статьи была частично решена обратная задача (максимизация количества составленных размеров при заданном количестве мер в наборах), опубликован ряд работ, посвященных оптимизации наборов с использованием численных методов [1, 2, 5], получено несколько патентов [3, 4], которые предусматривают реализацию различных алгоритмов получения размеров мер на-

© Фот А. П., Чепасов В. И., Муллабаев А. А., 2012

бора, осуществлена программная реализация различных алгоритмов генерации и оптимизации наборов [5–10].

В результате проведенных многочисленных вычислительных экспериментов и анализа полученных выходных характеристик наборов известных зарубежных и отечественных производителей и экспериментальных наборов нами установлено, что наиболее эффективными наборами являются наборы, размеры мер в которых получены «методом стрелок» [1, 2]. Алгоритм получения размеров мер по этому методу отличается от алгоритма получения размеров мер в существующих наборах. В табл. 1 в качестве примера приведены алгоритм получения размеров мер набора известной компании «Kolb & Baumann» (КОВА, Германия) и алгоритм авторов (МФЧ) (наборы состоят из пяти групп мер).

Таблица 1. **Алгоритмы получения размеров мер наборов концевых мер**

Зависимости для определения размеров мер и отдельных характеристик в наборах				Зависимости, общие для наборов
Набор КОБА		Набор МФЧ		
Размер первой меры, A_{1i}	Разность размеров мер в группе, δ_i	Размер первой меры, A_{1i}	Разность размеров мер в группе, δ_i	Размер последней меры в группе, A_{ni}
A_{11}	δ_1	$A_{11} =$ $= A_{11} \geq 0{,}500$ мм	$\delta_1 = \delta_1$	$A_{n1\text{-}1} = [A_{11} + (n_1 - 1)\,\delta_1]$
$A_{12} =$ $= A_{n1\text{-}1} + \delta_1$	$\delta_2 = A_{n1\text{-}1} - A_{11} + \delta_1$	$A_{12} = A_{n1\text{-}1} + \delta_{12}$	$\delta_2 = (\delta_{12} + \delta_1)$	$A_{n2\text{-}2} = [A_{12} + (n_2 - 1)\delta_2]$
$A_{13} =$ $= A_{n2\text{-}2} + \delta_2$	$\delta_3 = 10\delta_2$	$A_{13} = A_{n2\text{-}2} + \delta_{23}$	$\delta_3 = (\delta_{23} + \delta_2)$	$A_{n3\text{-}3} = [A_{13} + (n_3 - 1)\delta_3]$
$A_{14} =$ $= A_{n3\text{-}3} + \delta_3$	$\delta_4 = 10\delta_3$	$A_{14} = A_{n3\text{-}3} + \delta_{34}$	$\delta_4 = (\delta_{34} + \delta_3)$	$A_{n4\text{-}4} = [A_{14} + (n_4 - 1)\delta_4]$
$A_{15} =$ $= A_{n4\text{-}4} + \delta_4$	$\delta_5 = 10\delta_4$	$A_{15} = A_{n4\text{-}4} + \delta_{45}$	$\delta_5 = (\delta_{45} + \delta_4)$	$A_{n5\text{-}5} = [A_{15} + (n_5 - 1)\delta_5]$

Принятые в табл. 1 обозначения: $A_{11}\ldots A_{15}$ – размеры первых мер в группах 1…5 набора соответственно, мм; $A_{n1\text{-}1}$ … $A_{n5\text{-}5}$ – размеры последних мер в группах 1…5 набора соответственно, мм; δ_1 … δ_5 – разности размеров соседних мер в группах 1…5 набора соответственно, мм; δ_{12} … δ_{45} – разности размеров мер двух соседних групп (первой меры последующей группы и последней меры предыдущей группы), мм; n_1 … n_5 – количество мер в группах 1…5 набора соответственно.

Разности δ_{12} … δ_{45} в алгоритме МФЧ определяются как показано ниже:

$$\delta_{12} = A_{n1\text{-}1} - A_{11};$$
$$\delta_{23} = A_{n2\text{-}2} - A_{11} - \delta_1;$$
$$\delta_{34} = A_{n3\text{-}3} - A_{11} - 2\delta_1;$$
$$\delta_{45} = A_{n4\text{-}4} - A_{11} - 3\delta_1.$$

Приведенные в табл. 1 алгоритмы проверены на большом количестве конкретных наборов с использованием разработанного программного обеспечения [8]. Как уже было сказано ранее, пока не решена задача выбора значений общего количества мер набора N и количества мер n_i в группах набора по заданному количеству составленных размеров. Вместе с тем, на основании обработки результатов вычислительных экспериментов с оптимизированными наборами МФЧ с четырьмя группами, авторам удалось установить приближенные зависимости:

– между общим количеством мер N в наборе и количеством составленных размеров (КСР) максимального интервала с заданным шагом в ряду сочетаний мер (не более пяти мер) – зависимость (1);

– между общим количеством мер N в наборе и количеством мер n_i в группах набора – зависимость (2).

Упомянутые зависимости могут быть использованы в ориентировочных расчетах для наборов с N от 30 до 100 мер с шагом составленных размеров 0,005 мм и имеют вид:

$$\text{КСР} = 1{,}58 \cdot N^3 - 97 \cdot N^2 + 2074 \cdot N; \quad (1)$$

$$n_i = (0{,}3678 - 0{,}0473 \cdot X)N, \quad (2)$$

где X – номер группы набора и $N = n_1 + n_2 + n_3 + ... + n_i$.

Расчетные значения n_i следует округлять до ближайшего целого значения.

Для оценки наборов использовался критерий КО по зависимости (3):

$$\text{КО} = (\text{СР}_{\max} \cdot \text{КСР})(\text{СР}_{\min} \cdot L_{nab}), \ 1/\text{мм} \quad (3)$$

где $\text{СР}_{\max}$ и $\text{СР}_{\min}$ – максимальное и минимальное значение составленного размера наибольшего отрезка с постоянным шагом составленных размеров в ряду сочетаний размеров мер (по 1, 2, 3, 4 и 5 мер), мм; КСР – количество составленных размеров в отрезке; L_{nab} – суммарная длина мер набора, мм.

Расчетное значение КСР определяют по формуле (4):

$$\text{КСР} = (\text{СР}_{\max} - \text{СР}_{\min})/\delta_1 + 1. \quad (4)$$

Далее приведены некоторые результаты, полученные в ходе проектирования (оптимизации) и оценки наборов плоскопараллельных мер при заданных значениях общего количества N мер в наборе.

Для набора фирмы КОБА из 47 мер с размерами (1,0; 1,005; 1,01; 1,02; 1,03; 1,04; 1,05; 1,06; 1,07; 1,08; 1,09; 1,10; 1,11; 1,12; 1,13; 1,14; 1,15; 1,16; 1,17; 1,18; 1,19; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0; 60,0; 70,0; 80,0; 90,0; 100,0) получены характеристики (при шаге составленных размеров, равном 0,005 мм): L_{nab} = 629,305 мм; КСР = 22 243; $\text{СР}_{\min}$ = = 3,000 мм; $\text{СР}_{\max}$ = 114,210 мм; КО – 1 345,597143 1/мм.

При оптимизации данного набора с использованием приведенной в [9] программы набор был дополнен всего лишь одной мерой с размером 96,215 мм, в результате чего удалось существенно увеличить отрезок ряда составленных размеров с заданным шагом, значение максимального составленного размера в отрезке и значение КО (почти в три раза): L_{nab} = 725,520 мм; КСР = 40 042; $\text{СР}_{\min}$ = 3,000 мм; $\text{СР}_{\max}$ = 203,205 мм; КО – 3 738,346110 1/мм.

Для обеспечения сопоставления параметров набора фирмы КОБА и набора МФЧ последний был спроектирован с таким же количеством мер (47) и состоял из четырех групп (количество мер в группах: n_1 = 15, n_2 = 13, n_3 = 11, n_4 = 8) и следующих мер: 0,500; 0,505; 0,510; 0,515; 0,520; 0,525; 0,530; 0,535; 0,540; 0,545; 0,550; 0,555; 0,560; 0,565; 0,570; 0,640; 0,715; 0,790; 0,865; 0,940; 1,015; 1,090; 1,165; 1,240; 1,315; 1,390; 1,465; 1,540; 2,575; 3,685; 4,795; 5,905; 7,015; 8,125; 9,235; 10,345; 11,455; 12,565; 13,675; 26,840; 41,115; 55,390; 69,665; 83,940; 98,215; 112,490; 126,765. При шаге составленных размеров 0,005 мм характеристики набора: L_{nab} = 725,990 мм; КСР = 50 808; $\text{СР}_{\min}$ = 1,005 мм; $\text{СР}_{\max}$ = 255,040 мм; КО = = 17 760,030164.

Учитывая, что в наборе КОБА наибольшая мера равна 100 мм, полученный набор МФЧ из 47 мер был сокращен до 45 мер с наибольшей мерой 98,215 мм (исключены две последние меры набора). Характеристики уменьшенного набора:

L_{nab} = 486,735 мм; КСР = 39 388; $СР_{min}$ = 1,005 мм; $СР_{max}$ = 197,940 мм; КО = = 15 938,184758 (табл. 2).

Таблица 2. **Параметры сокращенного набора МФЧ-1 (45 мер)**

Расченые значения n_i для $N = 47$	Фактические (принятые) значения n_i (ограничение размера наибольшей меры)	Размер первой меры, $А_{1i}$, мм	Разность размеров мер в группе, δ_i, мм	Размер последней меры в группе, $А_{ini}$, мм
14,805	15	0,500	0,005	0,570
12,690	13	0,640	0,075	1,540
10,575	11	2,575	1,110	13,675
8,460	6	26,840	14,275	98,215

Очевидно, что округление расчетных значений n_i, найденных по зависимости (2), приводит к получению наборов в некоторой окрестности точки оптимума значений n_i. На основе проведенных вычислительных экспериментов было установлено, что оптимизированный вариант сочетания n_i можно определять по наборам, в которых n_i принимают значения в интервале $(n_i - 0{,}2n_4) \le n_i \le (n_i + 0{,}2n_4)$ (в нашем случае для набора МФЧ-47 значение $0{,}2n_4$ составляет около 2 единиц (округляют до ближайшего большего целого), и интервалы для последующей оптимизации значений n_i составляют: n_1 = 13…17; n_2 = 11…15; n_3 = 9…13; n_4 = 6…10).

Выходные характеристики рассмотренных ранее наборов приведены в табл. 3.

Таблица 3. **Характеристики наборов**

Характеристика набора	Набор КОБА из 47 мер	Оптимизированный набор КОБА из 48 мер	Набор МФЧ из 47 мер	Набор МФЧ-1 из 47 мер, сокращенный до 45 мер
L_{nab}, мм	629,305	725,520	725,990	486,735
КСР	22 243	40 042	50 808	39 388
$СР_{min}$, мм	3,000	3,000	1,005	1,005
$СР_{max}$, мм	114,210	203,205	255,040	197,940
КО, 1/мм	1 345,597143	3 738,346110	17 760,030164	15 938,184758

Как следует из данных табл. 3, наиболее эффективным является набор МФЧ из 47 мер (жирным шрифтом в таблице выделены предельные значения выходных характеристик наборов), однако в указанном наборе размер наибольшей меры (126,765 мм) существенно превышает размер аналогичной меры в наборе КОБА (равен 100 мм). Для сокращенного набора МФЧ-1 размер наибольшей меры равен 98,215 мм (меньше, чем в наборе КОБА). Характеристика набора МФЧ-1 значительно лучше, чем как у исходного, так и у оптимизированного наборов КОБА.

Учитывая полученные данные, предлагаемый алгоритм проектирования набора концевых мер включает:

– назначение исходных данных ($А_{11}$, δ_1, $СР_{min}$, $СР_{max}$, другое);

– определение количества составленных размеров КСР по формуле (4);

– определение предварительного значения общего количества мер N в наборе с использованием формулы (1);

– определение значений количества мер n_i в группах набора по формуле (2) с округлением до ближайших целых значений;

– назначение интервалов варьирования n_i в пределах от –20 % до +20 % значения количества мер в последней группе набора (с округлением до целого значения);

– генерация параметров (размеров мер набора) и оптимизационный расчет набора (определение значений N, n_i и выходных характеристик набора в области интервалов варьирования n_i и выбор набора с максимальным значением КО);

– сравнение характеристик полученного набора с характеристиками, требуемыми по исходным данным заказчика набора;

– корректировка набора (при необходимости, например, при ограничении размера наибольшей меры набора).

Пример реализации алгоритма проектирования набора

1. Заказчик предлагает спроектировать набор, в котором:

A_{11} = 0,500 мм, δ_1 = 0,005 мм, $CP_{min} \le 1{,}500$ мм, $CP_{max} \ge 180$ мм), размер наибольшей меры не должен быть более 100 мм, количество мер – не более 50.

2. Определяют количество составленных размеров КСР по формуле (4):

$$КСР = (CP_{max} \cdot CP_{min}) / \delta_1 + 1 = (180 - 1{,}500)/0{,}005 + 1 = 35701.$$

3. Определяют предварительное значение общего количества мер N в наборе, решая уравнение (1) относительно N:

$$35\,701 = 1{,}58 \cdot N^3 - 97 \cdot N^2 + 2\,074 \cdot N.$$

В решении уравнения единственный вещественный корень N = 43,1. Поскольку количество мер должно быть целым, принимают N = 43.

4. Определяют значения количества мер n_i в группах набора по формуле (2) с округлением до ближайших целых значений:

– для первой группы расчетное n_1 = 13,7815 → округляют до 14;

– для второй группы расчетное n_2 = 11,7476 → округляют до 12;

– для третьей группы расчетное n_3 = 9,7137 → округляют до 10;

– для четвертой группы расчетное n_4 = 7,6798 → округляют до 7 (для сохранения общего количества мер 43).

В итоге набор МФЧ-2 содержит 4 группы (14, 12, 10 и 7 мер в группах 1…4 соответственно) при общем количестве мер N = 43. Расчет размеров мер по алгоритму МФЧ дает следующие результаты:

– гр. 1 (14 мер с шагом 0,005 мм):

0,500; 0,505; 0,510; 0,515; 0,520; 0,525; 0,530; 0,535; 0,540; 0,545; 0,550; 0,555; 0,560; 0,565;

– гр. 2 (12 мер с шагом 0,070 мм):

0,630; 0,700; 0,770; 0,840; 0,910; 0,980; 1,050; 1,120; 1,190; 1,260; 1,330; 1,400;

– гр. 3 (10 мер с шагом 0,965 мм):

2,295; 3,260; 4,225; 5,190; 6,155; 7,120; 8,085; 9,050; 10,015; 10,980;

– гр. 4 (7 мер с шагом 11,435 мм):

21,450; 32,885; 44,320; 55,755; 67,190; 78,625; 90,060.

Характеристики: L_{nab} = 476,295 мм; КСР = 36 126; CP_{min} = 1,005 мм; CP_{max} = = 181,630 мм; КО = 13 707,724784 1/мм (полученный набор МФЧ-2 полностью удовлетворяет требованиям заказчика, но, возможно, есть и более удачный вариант, для чего далее проводят оптимизацию).

5. Определяют интервалы Δn_i варьирования n_i в пределах от –20 % до +20 % значения количества мер в последней группе набора (с округлением до ближайшего большего целого значения):

$$\Delta n_i = \pm 0,2 n_4 = \pm 0,2 \cdot 7 = \pm 1,4 \to \pm 2.$$

6. Производят генерацию параметров (размеров мер набора) и оптимизационный расчет набора (определение значений N, n_i и выходных характеристик набора в области интервалов Δn_i варьирования значений n_i, определенных в п. 4, и выбор набора с максимальным значением КО) с использованием соответствующего программного обеспечения.

При условии сохранения значения общего количества мер в наборе в количестве 43 оптимизирующая программа предлагает набор с параметрами, идентичными параметрам набора МФЧ-2 в п. 4.

С учетом того, что количество мер в наборе разрешено заказчиком в пределах до 50, последующая оптимизация дает набор МФЧ-3 со следующими характеристиками:

– общее количество мер в наборе – 46;

– размеры мер в группах:

гр. 1 (16 мер, шаг – 0,005):

0,500; 0,505; 0,510; 0,515; 0,520; 0,525; 0,530; 0,535; 0,540; 0,545; 0,550; 0,555; 0,560; 0,565; 0,570; 0,575;

гр. 2 (мер 14, шаг – 0,080):

0,650; 0,730; 0,810; 0,890; 0,970; 1,050; 1,130; 1,210; 1,290; 1,370; 1,450; 1,530; 1,610; 1,690;

гр. 3 (мер 11, шаг – 1,265):

2,875; 4,140; 5,405; 6,670; 7,935; 9,200; 10,465; 11,730; 12,995; 14,260; 15,525;

гр. 4 (мер 5, шаг – 16,280):

30,540; 46,820; 63,100; 79,380; 95,660.

Характеристики: L_{nab} = 441,680 мм; КСР = 38 366; $СР_{min}$ = 1,005 мм; $СР_{max}$ = = 192,830 мм; КО = 16 666,612103 1/мм.

Полученные характеристики наборов МФЧ-2 и МФЧ-3 приведены в табл. 4.

Таблица 4. **Характеристики МФЧ-2 и МФЧ-3 наборов**

Характеристика набора	Набор МФЧ-2 из 43 мер	Набор МФЧ-3 из 46 мер
L_{nab}, мм	476,295	441,680
КСР	36 126	38 366
$СР_{min}$, мм	1,005	1,005
$СР_{max}$, мм	181,630	192,830
КО, 1/мм	13 707,724784	16 666,612103

7. Сравнивают характеристики полученных наборов с требуемыми характеристиками набора по исходным данным.

Анализируя данные табл. 4, видим, что характеристики оптимизированного по значению КО набора МФЧ-3 (с учетом ограничений в исходных данных на проектирование) полностью отвечают требуемым заказчиком значениям по N, $СР_{min}$, $СР_{max}$ и КСР.

8. Корректировка набора.

Поскольку характеристики МФЧ-3 из 46 мер (16, 14, 11 и 5 мер в группах 1…4 соответственно) отвечают требуемым заказчиком значениям и лучше характери-

стик набора МФЧ-2, корректировка набора не требуется, и он может быть принят в качестве окончательного варианта.

При этом абсолютная погрешность нахождения N в МФЧ-2 с использованием зависимости (1) составила 3 единицы, а n_i в группах с использованием зависимости (2) – 2 единицы (относительно значений данных параметров в оптимизированном наборе МФЧ-3), что составляет менее 7 % от значения N и допустимо в ориентировочном расчете.

Спроектированные по алгоритму МФЧ наборы, имея более высокие по сравнению с наборами по алгоритму КОБА выходные характеристики, обладают одним существенным недостатком – повышенной трудоемкостью при подборе концевых мер для получения конкретного составленного размера. В связи с этим была разработана и включена в программный коплекс проектирования наборов специальная программа, позволяющая по заданному значению составленного размера определить размеры конкретных концевых мер набора (в минимальном количестве из вариантов по 1, 2, 3, 4 и 5 мер) для получения требуемого составленного размера. В принципе, любой спроектированный набор по желанию заказчика может быть укомплектован либо упомянутой программой, либо справочными таблицами для выбора мер по значению составленного размера.

Выводы

1. Решена в первом приближении задача аналитического определения требуемого общего количества мер в наборе плоскопараллельных мер и количества мер в группах набора (для наборов из четырех групп мер) с учетом требуемого количества составленных размеров и шага составленных размеров.

2. Предложенный алгоритм проектирования наборов плоскопараллельных мер позволяет существенно улучшить выходные характеристики наборов, уменьшить габариты, массу и стоимость наборов, но создаваемые с использованием данного алгоритма наборы трудоемки в эксплуатации.

3. Необходимо дальнейшее совершенствование предложенного алгоритма в целях обеспечения удобства работы оператора с наборами и снижения трудоемкости процесса подбора мер по заданному значению составленного размера без использования специального программного обеспечения и справочных таблиц.

Библиографические ссылки

1. *Муллабаев А. А., Фот А. П.* Оптимизация наборов концевых мер // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. – 2005. – № 4. – С. 156–158.

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

3. Пат. RU №№ 2307996 C1, МПК^8, GO1B3/30 (2006.01), GO1B 5/02(2006.01). Набор концевых мер и щупов / Фот А. П., Муллабаев А. А., Лисицкий И. И. (РФ). – № 2006118087/28(019666); – заявл. 25.05.06 ; решение о выдаче патента от 20.03.07 ; опубл. 10.10.07, Бюл. № 28. – 3 с.

4. Пат. RU № 2392580 C1, МПК^8, GO1B3/30 (2006.01), GO1B 5/02(2006.01). Набор концевых мер / Фот А. П., Муллабаев А. А., Чепасов В. И., Лисицкий И. И. (РФ). – № 2009121164 ; заявл. 03.06.09 ; решение о выдаче патента от 28.01.10 ; опубл. 20.06.10, бюл. № 17.

5. Свидетельство гос. регистрации программы для ЭВМ № 2009611695, Российская Федерация. Метод половинного шага в решении оптимизационных задач механики / Мул-

лабаев А. А., Чепасов В. И., Фот А. П., Назаров В. В. ; правообладатель гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Оренбург. гос. ун-т». – № 2009610378 ; дата поступления 05.02.09 ; дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 30.03.09 ; опубл. 2009 г., Электрон. бюл. № 2. – С. 399.

6. Свидетельство гос. регистрации программы для ЭВМ № 2009614644, Российская Федерация. Программа по получению массива калиброванных размеров / В. И. Чепасов (RU), А. П. Фот (RU), А. А. Муллабаев (RU) ; правообладатель гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Оренбург. гос. ун-т».– № 2009613582 ; дата поступления 08.07.09 ; дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 31.08.09 ; опубл. 2010 г., Электрон. бюл. № 4. – С. 262–263.

7. *Чепасов В. И., Муллабаев А. А., Фот А. П.* Программный комплекс по построению и оптимизации массива калиброванных размеров. – Оренбург : Руссервис, 2010. – 448 с.

8. *Чепасов В. И., Муллабаев А. А., Фот А. П.* Генерация калиброванных размеров исходного набора // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. – 2010. – № 1. – С. 154–151.

9. *Чепасов В. И., Муллабаев А. А., Фот А. П.* Оптимизация количества калиброванных размеров // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. – 2010. – № 2. – С. 168–171.

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

***

A. P. Fot, DSc in Engineering, Professor, Orenburg State University
V. I. Chepasov, DSc in Engineering, Professor, Orenburg State University
A. A. Mullabaev, DSc in Engineering, Professor, Orenburg State University

Designing of sets of plane-parallel end rods with account of complex optimization criterion

Results of analyzing the target characteristics of known and experimental sets of plane-parallel end rods are given. The algorithm of sets designing with account of a complex indicator of optimization criterion is offered.

Keywords: end rod, set of end rods, algorithm of obtaining the end rods dimensions

Получено: 22.03.12