

Муллабаев А.А.

кафедра теоретической механики и теории механизмов и машин ОГУ, кандидат технических наук, профессор

Фот А.П.

главный ученый секретарь ОГУ, доктор технических наук, профессор

ОПТИМИЗАЦИЯ НАБОРОВ КОНЦЕВЫХ МЕР И ЩУПОВ

В машиностроении широко распространены наборы концевых мер и щупов, применяемых для определения размеров и для настройки измерительных приборов. Нужные размеры составляются из нескольких концевых мер. В работе решена задача минимизации количества мер в наборах при условии сохранения ряда составленных размеров.

Существуют стандартные наборы концевых мер и щупов (ГОСТ 9038-90 предлагает 27 наборов). Указанный стандарт определяет размеры концевых мер для специальных и универсальных наборов.

Предлагаемые действующим ГОСТ 9038-90 специальные наборы №4, 5, 6, 7, 10, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 нами не рассматриваются. Они для каждого размера предполагают использование только одной концевой меры ($n = 1$). При этом точность размера увеличивается, но число Z составленных размеров уменьшается в сотни раз.

В универсальных наборах каждый составленный размер может быть получен сложением нескольких « n » мер из общего числа « q » мер в разных сочетаниях. Это позволяет значительно расширить требуемый ряд составленных размеров. Универсальные наборы №1, 2, 3, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 20 стандарта, к сожалению, не только не оптимальны, но и сохраняют пробелы в арифметическом ряде составленных размеров.

В идеальном случае максимальное значение числа « Z » составленных размеров (без пробелов) совпадает с теоретическим значением числа « Q » составленных размеров (при отсутствии ограничений на значения « n »).

$$Z = Q = C_q^1 + C_q^2 + C_q^3 + C_q^4 + \dots + C_q^i = 2^q - 1, \quad (1)$$

где C_q^i – число сочетаний из « q » по $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Из теории размерных цепей известно, что увеличение числа « n » мер, использованных для составления одного размера, ведет к увеличению погрешности составленного размера. В наиболее точных наборах « n » равно 1, в менее точных наборах « n » равно 2, 3, 4 и т. д. В существующей практике накладывают ограничения на значения « n », используя обычно не более 6 мер.

При увеличении « n » не только снижается точность составленных размеров, но и усложняется задача оптимизации набора концевых мер. В процессе оптимизации решается либо

прямая задача (минимизация общего числа концевых мер q при сохранении количества составленных размеров Z без пробелов), либо обратная задача (максимизация количества составленных размеров Z при сохранении общего количества числа мер q в наборе также без пробелов в ряде составленных размеров). Эта задача математиками и инженерами поставлена давно, но до настоящего времени решается только трудоемким методом «проб и ошибок», в связи с чем наборы, приведенные в ГОСТ 9038-90, далеки от оптимальных.

Разрабатывая теорию оптимизации комплектов сменных элементов механизмов и машин (шестерен, шкивов, звездочек и т. п.), мы обнаружили, что положения этой теории можно применить и для оптимизации наборов концевых мер и щупов. При этом более легко решается обратная задача – максимизация Z – как задача нелинейного программирования, когда область допустимых значений аргумента представляет невыпуклый многогранник, а целевая функция Z линейна. Вместе с тем и решение обратной задачи без специальных приемов в разумное время не под силу даже современным ЭВМ из-за необходимости осуществления очень большого числа вычислительных операций.

Нами разработана методика, позволяющая относительно просто решить такого класса задачи не только применительно к механизмам со сменными элементами, но и к наборам концевых мер.

Решение прямой задачи – минимизации общего числа концевых мер q при сохранении количества составленных размеров Z без пробелов – несравненно сложнее. Оно возможно только после решения обратной задачи по введенным при этом формулам либо табличным методом.

В таблице 1 приведены результаты синтеза по разработанной нами методике оптимальных наборов концевых мер, предлагаемых взамен

Таблица 1. Наборы концевых плоскопараллельных мер длины по ГОСТ 9038-90 и разработанной методике (выделено жирным шрифтом)

Варианты: ГОСТ 9038-90 - предлагаемый						
№ набора	q	Z	δ, мм	n	N _{мин} , мм	N _{мак} , мм
1	83- 42	22701- 23321	0,005	6- 4	1,000- 1,000	114,500- 117,600
2	38- 42	22221- 23321	0,005	5- 4	2,000- 1,000	113,100- 117,600
3*	112- 43	22701- 25321	0,005	6- 4	1,500- 1,000	130,005- 127,600
8	10- 7	36- 43	25,000	3-3	125,000- 25,000	1000,00- 1075,000
9	12- 7	21- 22	50,000	2-2	50,000- 50,000	1050,00- 1100,000
11	43- 33	131- 151	0,010	2-2	0,300- 0,300	1,600- 1,800
12*	74- 32	1763- 3521	0,005	5- 4	0,900- 1,000	10,005- 18,600
13	11- 7	21- 22	5,000	2-2	5,000- 5,000	105,000- 110,000
14	38- 31	230- 260	0,500	2-2	10,500- 0,500	125,000- 130,000
15	29- 28	2422- 2721	0,005	4- 4	2,000- 1,000	14,105- 14,600
20	23- 16	329- 451	0,020	4- 4	0,120- 0,120	6,690- 9,120

универсальных наборов №1, 2, 3, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 20 действующего ГОСТ 9038-90.

Наборы, приведенные в таблице 1, строго говоря, отличаются от полностью оптимальных, так как мы стремились использовать удобные (округленные) числа размеров концевых мер. Дополнительные к уже примененным выше обозначения величин, использованные в таблице: δ – регламентируемое значение разности соседних составленных размеров ряда; «N_{мак}», «N_{мин}»; – максимальное и минимальное значения соответственно составленных размеров на участке без пробелов.

Число Z составленных размеров без пробелов вычисляется по формуле:

$$Z = [(N_{\text{мак}} - N_{\text{мин}}) / \delta] + 1 \quad (2)$$

Новые наборы не только уменьшают затраты на производство их на заводе-изготовителе, но и позволяют получить положительный экономический эффект у потребителя, так как увеличивают точность и расширяют диапазон

составленных размеров, в частности, при изменении наборов по ГОСТ обеспечивается:

- уменьшение общего количества мер (снижение стоимости) – на 64,24%**;
- увеличение диапазона составленных размеров – на 5,69%**;
- увеличение числа составленных размеров – на 9,06%**;
- уменьшение числа мер составления размера (повышение точности) – на 17,14%**.

Разработанная авторами методика позволяет произвести синтез оптимальных наборов (или определение размеров мер синтезированных наборов, приведенных, например, в таблице 1) по желанию заказчика. При заказе необходимо указать:

- максимальное «N_{мак}» и минимальное «N_{мин}» значения составленных размеров;
- значение допускаемой разности соседних составленных размеров «δ»;
- предельное значения числа «n» мер для составления одного размера.

*) Имеется два набора, в которых изменяются значения границ диапазона ГОСТа в худшую сторону: минимальное значение составляемого размера для набора №12 увеличивается на 11,11%, а максимальное значение составляемого размера для набора №3 уменьшается на 1,85%. Данные отклонения не являются существенными при условии использования всех остальных наборов.

**) Приведено усредненное значение расчета эффекта для всех универсальных наборов таблицы 1. Для отдельных наборов значения значительно выше, например, для набора №3 общее число концевых мер по предлагаемой методике сокращается в 2,6 раза (на 160%).