

2) после критического или экстремального ударного (импульсного, знакопеременного, циклического), температурного (холод, высокие температуры) нагружения, сложных комбинированных воздействий, в том числе с наложением вибрации и т. п.

Учитывая доступность и простоту предложенного способа, он может также применяться на контрольных операциях или в межоперационных переходах в цикле технологического изготовления различных свитых изделий.

Во всех случаях способ может быть дополнительным информативным источником при рассмотрении триботехнических проблем, особенно в случаях, когда прямой теоретический подход не дает решения.

Библиографические ссылки

1. Стальные канаты : сборник научных трудов. – Одесса : АстроПринт, 1999.
2. Синицын В. В. Зарубежные пластичные (консистентные) смазки. – М. : Гостехиздат, 1963. – 136 с.
3. Стальные канаты : сборник научных трудов. – Одесса : АстроПринт, 1999.
4. Тарасов В. В., Постников В. А. Новые технологии ремонта оборудования и машин с использованием комплекса МУСК «СКАРН-1» // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2004. – № 8. – С. 12–15.
5. Новиков В. Н., Тарасов В. В., Калентьев Е. А., Постников В. А. Повышение эффективности использования стальных канатов путем совершенствования состава смазочного материала // «Труды ГОСНИТИ» ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии. Т. 109, ч. 1. – М., 2012. – С. 98–101.
6. Там же.
7. Тарасов В. В., Новиков В. Н., Калентьев Е. А. Определение фрикционных характеристик смазочных материалов для стальных канатов // «Труды ГОСНИТИ» ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии, Т. 112, ч. 2. – М., 2013. – С. 111–114.
8. Там же.
9. Новиков В. Н., Тарасов В. В., Калентьев Е. А., Постников В. А. Указ. соч.
10. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. – М. : Наука, 1965. – 848 с.
11. Новиков В. Н., Тарасов В. В., Калентьев Е. А., Постников В. А. Указ. соч.
12. Тарасов В. В., Новиков В. Н., Калентьев Е. А. Указ. соч.

V. N. Novikov, Izhevsk State Agricultural Academy

V. V. Tarasov, DSc in Engineering, Professor, Institute of Mechanics, Ural Branch RAS, Izhevsk

E. A. Kalentyev, PhD in Engineering, Institute of Mechanics, Ural Branch RAS, Izhevsk

Yu. V. Puzanov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Determination of friction characteristics of lubricants for steel wire ropes operating at low temperatures.

The paper describes a method for determining the frictional characteristics of lubricants for steel wire ropes operating at low temperatures.

Keywords: steel wire ropes, lubricants, low temperature.

Получено: 10.11.14

УДК 621.757

В. Г. Осетров, доктор технических наук, профессор

Е. С. Слащев, аспирант

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ГРУППОВОЙ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

В статье рассматривается расчет размерной цепи при групповой взаимозаменяемости для соединений с натягом. Выведены рекуррентные формулы для расчета верхних и нижних отклонений групповых допусков, на основе которых составляется программа ЭВМ.

Ключевые слова: метод групповой взаимозаменяемости, соединение с натягом, размерная цепь, рекуррентные формулы, сборка, верхнее и нижнее отклонение.

Анализ существующих работ и опыт применения метода групповой взаимозаменяемости на производстве выявил 2 класса типовых задач [1–3]. Первый класс характеризует соединения с зазором, второй класс – соединения с натягом. В данной работе рассматриваются типовые задачи для соединений с натягом при помощи рекуррентных формул. Для вывода рекуррентных формул для каждой типовой задачи промоделировано решение в форме графического расположения групповых полей допусков с указанием номеров групп сверху вниз и минимального натя-

га [4, 5]. При этом принимается равенство суммы допусков увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев, а также середин координат допусков замыкающего звена и составляющих звеньев. Первые две задачи моделируются при условии, что одно увеличивающее звено и несколько уменьшающих звеньев. Другие задачи моделируют множество звеньев во всех ветвях размерной цепи. Для автоматического решения задач выявлены следующие свойства расположения полей допусков:

1. Сумма координат середин полей допусков, расположенных на линии нуля по горизонтали звеньев размерной цепи, равна координате поля допуска с вертикальным расположением полей допусков звеньев этой размерной цепи, смотри рис. 1.

2. Равенство середин полей допусков замыкающего звена и составляющих звеньев отражается расположением полей допусков группы звена относительно увеличивающего сдвигом на величину минимального натяга, а других звеньев расположением на линии нуля по горизонтали (рис. 2).

Рассмотрим решение на конкретных примерах. Задача 1. Дано: трехзвенная размерная цепь и схема расположения полей допусков, рис. 1. Применяется способ равных допусков, количество групп $n = 4$. На основе метода математической индукции для данной задачи выведены рекуррентные формулы для верхнего и нижнего отклонения увеличивающего и уменьшающего звена.

Для уменьшающих звеньев:

$$Es\overline{A(i)} = Td\left(1 - \frac{i-1}{n}\right), \quad (1)$$

$$Ei\overline{A(i)} = Td\left(1 - \frac{i}{n}\right), \quad (2)$$

где $Es\overline{A(i)}$ – верхнее отклонение уменьшающего звена; $Ei\overline{A(i)}$ – нижнее отклонение уменьшающего звена; n – количество групп; $i = 1, 2, \dots, n$ – текущая переменная, характеризующая количество групп; Td – допуск уменьшающего звена.

Для увеличивающих звеньев:

$$ES\overline{A(i)} = \frac{TD}{n}(2 + n - i) + N_{\min}, \quad (3)$$

$$EI\overline{A(i)} = \frac{TD}{n}(1 + n - i) + N_{\min}, \quad (4)$$

где $ES\overline{A(i)}$ – верхнее отклонение увеличивающего звена; $EI\overline{A(i)}$ – нижнее отклонение увеличивающего звена; TD – допуск увеличивающего звена; N_{\min} – минимальный натяг.

Для пояснения формул приведем числовой пример. Исходные данные: $TD = 40$ мкм, $n = 4$.

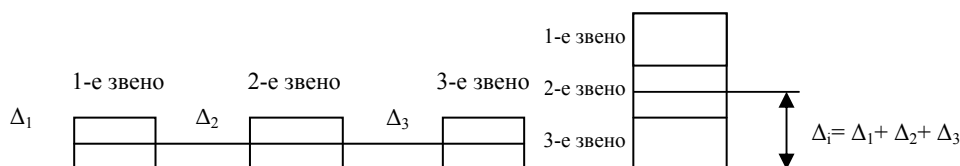


Рис. 1. Расположение полей допусков (Δ_i – середины координат полей допусков звеньев)

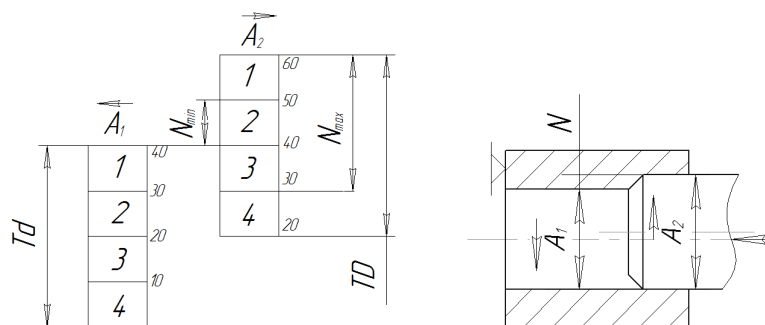


Рис. 2. Схема расположения групповых полей допусков и размерная цепь при запрессовке вала во втулку

В соединениях с натягом, по сравнению с соединениями с зазором, диаметр втулки является уменьшающим звеном, т. к. с его увеличением уменьшается замыкающее звено (натяг). Диаметр вала в соединении с натягом – увеличивающее звено.

Результаты расчета по рекуррентным формулам представим в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчета задачи 1

n	Вал A_2		Втулка A_1		Натяг N		TN
	ES	EI	Es	Ei	max	min	
1	60	50	40	30	30	10	20
2	50	40	30	20	30	10	20
3	40	30	20	10	30	10	20
4	30	20	10	0	30	10	20

Задача 2. Дано: соединение деталей (I – скоба, 2, 3 – шины электрические), отражающее размерную цепь с натягом, рис. 3, а, б. В размерной цепи применяется способ равных допусков, количество групп $n = 4$, количество подгрупп для увеличивающих звеньев $m_{ув} = 2$. Подгруппа представляет группой допуск для одного составляющего звена. Схема, представленная на рис. 3, является типовой и отражает 2-е свойство расположения полей допусков, для которого выполняется равенство середин координат замыкающего звена и составляющих звеньев.

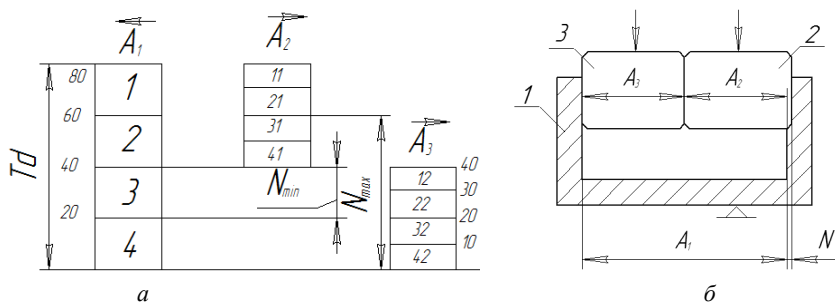


Рис. 3. Многозвенная размерная цепь: а – схема расположения полей допусков при групповой взаимозаменяемости; б – размерная цепь соединения деталей (1 – скоба, 2, 3 – охватываемые шины)

Определяем верхнее и нижнее отклонение уменьшающего звена по формулам (1) и (2). Для верхнего и нижнего отклонения увеличивающих звеньев, анализируя схему рис. 3, б, выводим по методу индукции рекуррентные формулы:

$$ES \overline{A(i, j)} = (Td / n + N_{\min}) \times \prod_{k=2}^m \frac{(k - (j - m_{\text{ум}}))}{(m - 1)!} + \frac{Td}{m_{\text{ув}}} \left(1 - \frac{(i - 1)}{n} \right), \quad (5)$$

$$EI \overline{A(i, j)} = (Td / n + N_{\min}) \times \prod_{k=2}^m \frac{(k - (j - m_{\text{ум}}))}{(m - 1)!} + \frac{Td}{m_{\text{ув}}} \left(1 - \frac{(i)}{n} \right), \quad (6)$$

где произведение раскрывается следующим образом:

$$\prod_{k=2}^m (k - (j - m_{\text{ум}})) = (2 - (j - m_{\text{ум}})) \cdot (3 - (j - m_{\text{ум}})) \dots \cdot (m - (j - m_{\text{ум}})),$$

где $j = 1, 2 \dots m$; $m_{\text{ум}}$ – количество уменьшающих звеньев размерной цепи; $m_{\text{ув}}$ – количество увеличивающих звеньев размерной цепи; $k = 2, 3 \dots m$ – текущие переменные для расчета количества составляющих звеньев ($m \geq 2$); m – количество звеньев.

Приведем расчет при $n = 4$, $TD = 80$ мкм, $N_{\min} = 20$ мкм, $N_{\max} = 60$ мкм. Результаты расчета представим в табл. 2.

Формулы (5), (6) применяются тогда, когда номинальные размеры звеньев находятся в одном интервале нормального ряда чисел, т. е. допуска на все звенья равны.

На производстве скобы применяются для крепления шин и коробок с проводами. Если натяг больше допустимого, то может быть поломка скобы. Поэтому производится сортировка размеров в соответствии с табл. 2.

Таблица 2. Результаты решения 2-й задачи

Группы $n = 4$	$A_2 = 20$		$A_3 = 20$		$A_1 = 40$		Натяг N		TN в мкм
	Верх. $ES \overline{A(i, j)}$	Ниж. $EI \overline{A(i, j)}$	$ES \overline{A(i, j)}$	$EI \overline{A(i, j)}$	$ES \overline{A(i, j)}$	$EI \overline{A(i, j)}$	max	min	
1	80	70	40	30	80	60	60	40	20
2	70	60	30	20	60	40	60	40	20
3	60	50	20	10	40	20	60	20	40
4	50	40	10	0	20	0	60	20	40

Задача 3. Дано: многозвенная размерная цепь $TD_{\text{ув}} = Td_{\text{ум}}$, рис. 4, а и схема расположения полей допусков 4, б. Применяется способ допусков, зависящих от номинального размера звена цепи. Для

данного случая количество групп $n = 3$, а количество подгрупп для звеньев равно 2, $TD = Td = 45$, $N = 5$ мкм, $N_{\max} = 35$ мкм.

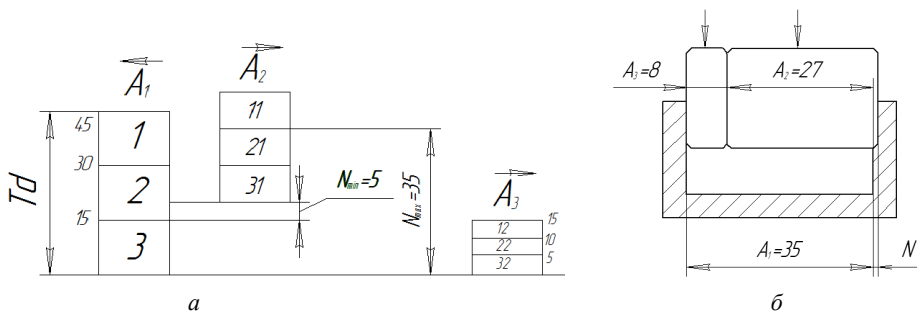


Рис. 4. Многозвенная размерная цепь: а – схема расположения полей допусков; б – размерная цепь

Требуется определить верхние и нижние отклонения звеньев.

Первоначально выводим рекуррентные формулы для допусков на подгруппу одного составляющего звена:

$$T(i, j) = a_j \cdot e_j,$$

где $T(i, j)$ – допуск на подгруппу одного составляющего звена; a_j – количество единиц допуска.

$$a_j = \frac{Td \cdot e_j}{n \cdot \sum_{j=1}^m e_j^2} = \frac{Td \cdot e_j}{n(e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_m^2)}, \quad (7)$$

e_j – единица допуска:

$$e_j = 0,45\sqrt[3]{A_j} + 0,001A_j, \quad (8)$$

где A_j – номинальный размер составляющего звена размерной цепи.

Рассмотрим числовой пример. Дано: $A_2 = 27, A_3 = 8, A_1 = 35$ – составляющие звенья; $Td = 45, N_{\max} = 35$ мкм, $N_{\min} = 5$ мкм – величина натягов; $n = 3$ – число групп, $m = 2$ – число подгрупп; $T_{гр} = 15$ – групповой допуск.

Определить верхние и нижние отклонения составляющих звеньев.

Решение:

1. Вычисляем единицу допуска для звеньев: $A_2 = 27, A_3 = 8$:

$$e_2 = 0,45\sqrt[3]{27} + 0,027 = 1,35, \quad e_3 = 0,91.$$

2. Вычисляем количество единиц допуска по формуле (7):

$$a_2 = \frac{Td \cdot e_1}{3 \cdot \sum_{j=1}^2 e_j^2} = \frac{45 \cdot 1,35}{3 \cdot (1,35^2 + 0,91^2)} = 7,65, \\ a_3 = 5,17.$$

3. Допуски на подгруппы составляющих звеньев округляем для всех групп, причем они равны:

$$T(1,2) = a_2 \cdot e_2 = 7,65 \cdot 1,35 = 10,$$

$$T(1,3) = a_3 \cdot e_3 = 0,91 \cdot 5,17 = 5,$$

$$T(2,2) = T(3,2) = 10, \quad T(2,3) = T(3,3) = 5.$$

4. Определяем верхние и нижние отклонения уменьшающих звеньев по формулам (1), (2), а увеличивающих звеньев по формулам (9), (10):

$$\overline{ESA(i, j)} = (Td / n + N_{\min}) \frac{\prod_{k=2}^m (k - (j - m_{ym}))}{(m-1)!} + \\ + T(i, j) \cdot n \cdot \left(1 - \frac{(i-1)}{n}\right), \quad (9)$$

$$\underline{EIA(i, j)} = (Td / n + N_{\min}) \frac{\prod_{k=2}^m (k - (j - m_{ym}))}{(m-1)!} + \\ + T(i, j) \cdot n \cdot \left(1 - \frac{(i)}{n}\right). \quad (10)$$

Результаты решения задачи 3 представлены в табл. 3, в которой все числовые данные, кроме номинальных размеров, указаны в мкм.

Таблица 3. Результаты решения задачи 3

Группы $n = 3$	$A_3 = 27$		$A_2 = 8$		$A_1 = 35$		Натяг N		TN зазора
	$\overline{ESA(i, j)}$	$\underline{EIA(i, j)}$	$\overline{ESA(i, j)}$	$\underline{EIA(i, j)}$	$\overline{ESA(i, j)}$	$\underline{EIA(i, j)}$	max	min	
1	50	40	15	10	45	30	35	5	30
2	40	30	10	5	30	15	35	5	30
3	30	20	5	0	15	0	35	5	30

При разработке программы для ЭВМ необходимо использовать следующие правила:

1. Номера составляющих звеньев размерной цепи проставляются от замыкающего звена.

2. В обозначениях верхних и нижних отклонений при фиксированном звене в начале изменяется переменная i по группам, а затем j по звеньям. Например: $ESA(i, j) \rightarrow ESA(1,1), ESA(2,1), ESA(3,1)$.

3. В формулах (5), (6), (9), (10) необходимо обратить внимание на соответствие номеров звеньев. Если имеется m_{ym} уменьшающих звеньев, то для увеличивающих вычитается из текущей переменной j количество m_{ym} уменьшающих звеньев.

Рассмотрим пример. Дано: размерная цепь (рис. 5). Составляющие звенья: $A_1 = 40, A_2 = 20, A_3 = 45, A_4 = 15$. Допуски: $TA_1 = 0,06, TA_2 = 0,04, TA_3 = 0,07, TA_4 = 0,03$. Натяги $N_{\max} = 0,25, N_{\min} = 0,05$.

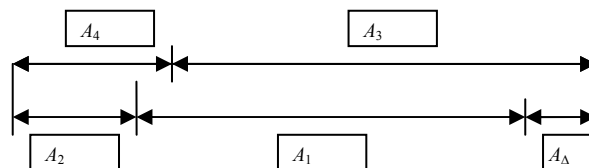


Рис. 5. Схема размерной цепи: A_1, A_2 – уменьшающие звенья ($m_{ym} = 2$), $m = 4$ – общее количество звеньев

Решение:

1. Определяем допуск натяга: $TN = 0,25 - 0,05 = 0,2$.

2. Групповой допуск: $T_{гр} = TN/2 = 0,1$.

3. Количество групп: $n = 3$.

4. Рассчитываем производственные допуски: $Td = Td = 0,1 \cdot 3 = 0,3$.

5. Определяем верхнее и нижнее отклонение уменьшающих звеньев:

$$EsA(1,1) = TA_1 \cdot n \cdot \left(1 - \frac{(i-1)}{n}\right) = 0,06 \cdot 3 = 0,18;$$

$$EsA(2,1) = TA_1 \cdot n \cdot \left(1 - \frac{(i-1)}{n}\right) = 0,18 \cdot 2 / 3 = 0,12;$$

$$EsA(3,1) = 0,06; \quad EiA(1,1) = TA_1 \cdot n \cdot \left(1 - \frac{(i)}{n}\right) = 0,12;$$

$$EiA(2,1) = 0,06; \quad EiA(3,1) = 0.$$

6. Определяем верхние и нижнее отклонения увеличивающих звеньев:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{ESA(1,3)} &= (Td / n + N_{\min}) \frac{\prod_{k=2}^m (k - (j - m_{ym}))}{(m-1)!} + \\ &+ T(1,3) \cdot n \cdot \left(1 - \frac{(i-1)}{n}\right) = \\ &= (0,1 + 0,05) \cdot \frac{(2-1) \cdot (3-1) \cdot (4-1)}{1 \cdot 2 \cdot 3} + 0,07 \cdot 3 = 0,36; \end{aligned}$$

$$\overrightarrow{ESA(2,3)} = 0,29; \quad \overrightarrow{ESA(3,3)} = 0,22.$$

$$\overleftarrow{EiA(1,3)} = (Td / n + N_{\min}) \frac{\prod_{k=2}^m (k - (j - m_{ym}))}{(m-1)!} +$$

$$+ T(1,3) \cdot n \cdot \left(1 - \frac{(i)}{n}\right) = 0,36;$$

$$\overleftarrow{EiA(2,3)} = 0,29; \quad \overleftarrow{EiA(3,3)} = 0,22;$$

$$\overrightarrow{ESA(1,4)} = T(1,4) \times n \times \left(1 - \frac{i-1}{n}\right) = 0,03 \times 3 = 0,09;$$

$$\overrightarrow{ESA(2,4)} = 0,06; \quad \overrightarrow{ESA(2,4)} = 0,06; \quad \overrightarrow{ESA(3,4)} = 0,03;$$

$$\overrightarrow{ESA(1,4)} = T(1,4) \times n \times \left(1 - \frac{i}{n}\right) = 0,9 \times 2 / 3 = 0,06$$

и т. д.

Результаты расчетов отразим в табл. 4, где все размеры установлены в мм.

Таблица 4. Результат расчета

n = 3	A ₃ =45		A ₄ =15		A ₁ =40		A ₂ =20		Натяг N		TN
	$\overrightarrow{ESA(i,j)}$	$\overleftarrow{EiA(i,j)}$	$\overrightarrow{ESA(i,j)}$	$\overleftarrow{EiA(i,j)}$	$\overrightarrow{ESA(i,j)}$	$\overleftarrow{EiA(i,j)}$	$\overrightarrow{ESA(i,j)}$	$\overleftarrow{EiA(i,j)}$	max	min	
1	0,36	0,29	0,09	0,06	0,18	0,12	0,12	0,08	0,25	0,05	0,1
2	0,29	0,22	0,06	0,03	0,12	0,08	0,08	0,04	0,25	0,05	0,1
3	0,22	0,15	0,03	0	0,08	0,04	0,04	0	0,25	0,05	0,1

Таблица используется для сортировки деталей без графического отображения полей допусков.

Выводы и результаты:

1. Анализ задач при расчете размерных цепей методом групповой взаимозаменяемости показал, что при создании программы для ЭВМ имеется ряд особенностей, влияющих на автоматические расчеты точности.

2. Выявлены особенности типовых задач для соединений с натягом по сравнению с зазором и определены рекуррентные формулы для групповых допусков увеличивающих и уменьшающих звеньев размерной цепи.

3. Раскрыты размерные связи и выявлены 2 свойства расположения полей допусков, выведены формулы для создания программы расчета точности замыкающего звена по методу групповой взаимозаменяемости соединений с натягом.

Библиографические ссылки

1. Балакиин Б. С. Теория и технология машиностроения : в 2 кн. – М. : Машиностроение, 1982.
2. Осетров В. Г., Слащев Е. С., Трифонов И. С. Расчет точности сборки соединений с многозвенной размерной цепью методом групповой взаимозаменяемости // Вестник ИжГТУ. – 2013 – № 1.
3. Слащев Е. С., Осетров В. Г. Совершенствование метода сборки групповой взаимозаменяемости // Вестник ИжГТУ. – 2013. – № 3.
4. Осетров В. Г. Теория и практика сборки машин. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2006.
5. Осетров В. Г., Слащев Е. С. Совершенствование расчетов размерной цепи при использовании метода групповой взаимозаменяемости при использовании метода групповой взаимозаменяемости // Сборка в машиностроении, приборостроение. – 2014. – № 7.

V. G. Osetrov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
E. S. Slashchev, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Dimensional chain calculation by interchangeability group method for pressure coupling

The article describes the dimensional chain calculation by the interchangeability group method for pressure coupling. Recursive formulas have been determined for lower and upper limits of group tolerances of the dimensional chain to be applied by a computer program.

Keywords: method of group interchangeability, pressure coupling, dimensional chain, recursive formulas, assembly, lower and upper limits.

Получено: 27.08.14