

ИИ: 6797
P175

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЛЫБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени С. П. КОРОЛЕВА

РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

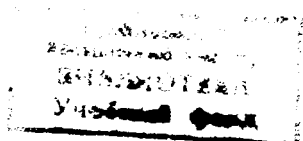
Методические указания

Министерство высшего и среднего специального образования
РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева

РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

Утверждено редакционным
советом института в качестве
методических указаний



Куйбышев 1982

УДК 621.753

В методических указаниях приведено краткое изложение расчета размерных цепей на полную взаимозаменяемость и поясняются особенности их расчета. Рассмотрены методы обеспечения точности.

Методические указания предназначены для студентов, выполняющих курсовые работы по курсу "Взаимозаменяемость, стандартизация и тех. измерения".

Редакторы-составители: Ф.П.У р ы в с к и й, Б.Н.У л а н о в,
В.Н.Т р у с о в

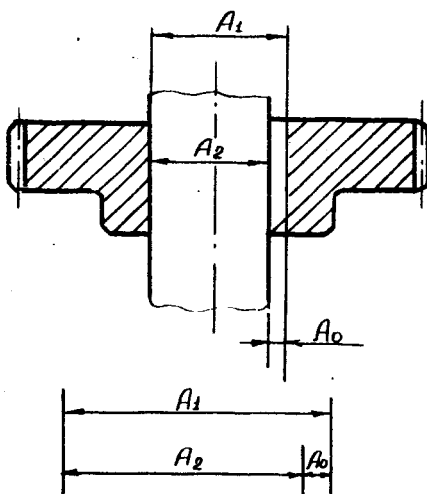
Рецензенты: М.Н.К л е б а н о в, А.В.Т а р а с о в

1. КЛАССИФИКАЦИЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ.

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Многие размеры деталей при изготовлении и сборке в узел становятся взаимосвязанными, например, диаметры вала A_1 , отверстия A_2 и зазор между ними A_0 (рис.1). Эта связь может быть установлена с помощью размерной цепи.

Размерной цепью называют совокупность размеров, образующих замкнутый контур и определяющих точность взаимного расположения поверхностей одной детали или нескольких деталей в узле. Замкнутость размерного контура - необходимое условие для составления и анализа размерной цепи, хотя на рабочем чертеже размеры представляются в виде незамкнутого контура, так как знание размера A_0 (см.рис.1) для изготовления деталей не требуется. Размеры, образующие размерную цепь, называются звеньями размерной цепи.



Р и с. 1. Схема размерной цепи

По взаимному расположению звеньев размерные цепи делятся на линейные, плоские и пространственные. Размерную цепь называют линейной, если все ее звенья номинально параллельны. Размерная цепь называется плоской, если все или несколько ее звеньев не параллельны, но лежат в одной или нескольких параллельных плоскостях. Пространственной называют размерную цепь, все или часть звеньев которой расположены в непараллельных плоскостях.

Размерную цепь можно условно представить в виде схемы (см. рис. 1).

Звенья размерной цепи подразделяются на составляющие и одно замыкающее. Замыкающим называют звено, которое получается послед-

ним в процессе изготовления детали или сборки узла (например, A_0 на рис. I). Его величина и точность зависят от величины и точности всех остальных звеньев, называемых составляющими. Составляющие звенья (например, A_1 на рис. I), с увеличением которых замыкающее звено увеличивается, называются увеличивающими. Составляющие звенья (например, A_2 на рис. I), с увеличением которых замыкающее звено уменьшается, называются уменьшающими.

Анализ и расчет размерных цепей позволяет:

установить количественную связь между размерами деталей, уточнить номинальные значения и допуски взаимосвязанных размеров исходя из эксплуатационных требований и экономической точности обработки деталей и сборки машины;

определить наиболее приемлемый вид взаимозаменяемости (полный или неполный);

добиться наиболее правильной простановки размеров на чертеже; пересчитать конструкторские размеры на технологические (в случае несоответствия технологических баз с конструкторскими).

Расчет размерных цепей — обязательный этап конструирования машин, способствующий повышению качества, обеспечению взаимозаменяемости и снижению трудоемкости их изготовления.

Сущность расчета размерных цепей заключается в определении допусков и предельных отклонений всех звеньев исходя из конструктивных и технологических требований. При этом возникает две задачи:

1. Определение номинального размера и допуска (предельных отклонений) замыкающего звена по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям составляющих звеньев — проверочный расчет.

2. Определение допуска и предельных отклонений составляющих размеров по заданным или рассчитываемым номинальным размерам составляющих звеньев и предельным размерам замыкающего звена — проектный расчет.

Применяют следующие методы решения размерных цепей:

максимума-минимума;

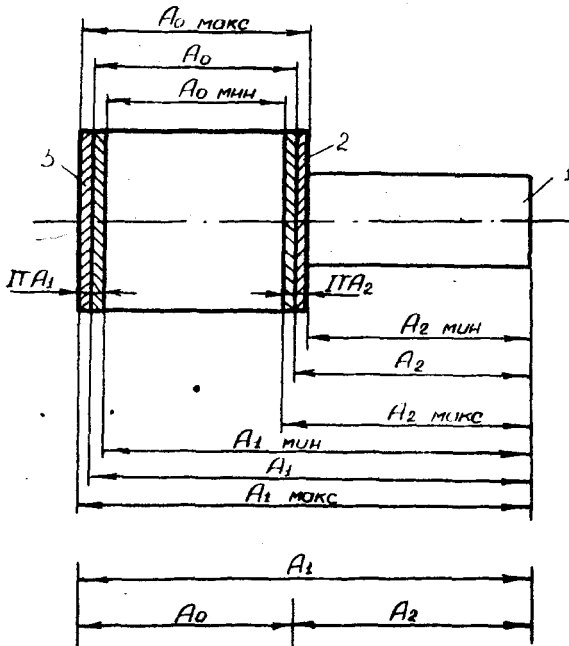
теоретико-вероятностный.

Метод максимума-минимума обеспечивает полную взаимозаменяемость. Теоретико-вероятностный метод, учитывающий явления рассеивания и вероятность различных сочетаний отклонений составляющих звеньев, обеспечивает неполную взаимозаменяемость.

2. РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ МАКСИМУМА-МИНИМУМА

2.1. Определение номинального размера, предельных отклонений и допуска замыкающего звена

Метод такого расчета рассмотрим на примере размерной цепи для изготовления детали, показанной на рис.2.



Р и с. 2. Трехзвенная размерная цепь

У детали обрабатывается плоскость 2 на размер $A_2 \pm I_2 I_2$ от базовой плоскости 1, затем обрабатывается плоскость 3 на размер $A_1 \pm I_2 I_1$ от той же базовой плоскости. Размер A_0 - замыкающий, получится в результате обработки поверхностей 2 и 3. Как видно

2-461

из рисунка, номинальный размер замыкающего звена

$$A_0 = A_1 - A_2 .$$

В общем случае при n составляющих звеньев (включая замыкающий)

$$A_0 = \sum A_{ув} - \sum A_{ум} .$$

Если увеличивающий размер A_1 будет выполнен с максимально допустимым размером, а уменьшающий A_2 - с минимально допустимым размером, то замыкающий размер A_0 получится максимальным, т.е.

$$A_{0\text{ макс}} = A_{1\text{ макс}} - A_{2\text{ мин}} .$$

или в общем случае:

$$A_{0\text{ макс}} = \sum A_{ув.\text{ макс}} - \sum A_{ум.\text{ мин}} . \quad (1)$$

Аналогично:

$$A_{0\text{ мин}} = \sum A_{ув.\text{ мин}} - \sum A_{ум.\text{ макс}} . \quad (2)$$

Вычитая почленно уравнение (2) из (1), получаем допуск замыкающего звена:

$$IT A_0 = \sum_1^{n-1} IT A_i , \quad (3)$$

где A_i - составляющие звенья (уменьшающие и увеличивающие).

Следовательно, допуск замыкающего звена равен сумме допусков всех составляющих звеньев. Поэтому для обеспечения наименьшей погрешности замыкающего звена размерная цепь должна состоять из возможно меньшего числа звеньев (принцип кратчайшей цепи).

Верхнее предельное отклонение замыкающего звена можно подсчитать как разность его наибольшего предельного и номинального размеров:

$$Es(A_0) = A_{0\text{ макс}} - A_0 .$$

Нижнее предельное отклонение

$$Ei(A_0) = A_{0\text{ мин}} - A_0 .$$

2.2. Определение предельных отклонений и допусков составляющих звеньев

С необходимостью решения этой задачи на практике встречается чаще, так как конечной целью является расчет допусков составляющих размеров по заданной точности замыкающего звена, обеспечивающего эксплуатационные требования к детали и узлу.

Эту задачу можно решать двумя способами: способом равных допусков, способом равных квалитетов.

Способ равных допусков применяется, если составляющие размеры являются величинами одного порядка (входят в один интервал размеров и могут быть выполнены примерно с одной экономической точностью).

В этом случае можно условно принять:

$$IT_{A_1} = IT_{A_2} = IT_{A_3} = \dots = IT_n A_i, \text{ где } IT_n A_i - \text{средний допуск составляющего звена.}$$

Тогда из уравнения (3) при n составляющих звеньев (включая замыкающее) получим

$$IT_{A_0} = (n - 1) IT_n A_i.$$

Откуда

$$IT_n A_i = \frac{IT_{A_0}}{n - 1}.$$

Полученный средний допуск $IT_n A_i$ корректируется для некоторых составляющих размеров в зависимости от их величины, конструктивных требований и технологичности изготовления. После корректировки величин допусков производится проверка по уравнению

$$IT_{A_0} \geq \sum_{i=1}^{n-1} IT_i.$$

Данный способ прост, но недостаточно точен, так как корректировка производится произвольно.

Способ допусков одного квалитета применяется для размерных цепей, составляющие размеры которых могут быть выполнены в одном квалитете. Требуемый квалитет определяется следующим образом.

Величина допуска каждого размера

$$IT_i = a_i i,$$

где $i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D$ (для интервалов размеров от I до 500 мм), здесь D - средний геометрический размер интервала.

Тогда $IT A_i = a_i (0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D)$,

где a_i - число единиц допуска искомого качества. Значение единицы допуска приведено в табл. I, а количество единиц допуска в качестве - в табл. 2.

Допуски замыкающего звена

$$IT A_0 = a_1 i_1 + a_2 i_2 + \dots + a_n i_n,$$

где a_n - среднее количество единиц допуска.

Согласно условию $a_1 = a_2 = \dots = a_n$ получим

$$IT A_0 = a_n \sum_{i=1}^{n-1} (0,45 \sqrt[3]{D_i} + 0,001 D_i),$$

откуда

$$a_n = \frac{IT A_0}{\sum_{i=1}^{n-1} (0,45 \sqrt[3]{D_i} + 0,001 D_i)},$$

где $IT A_0$ - допуск, мкм; D_i - диаметр, мм.

По a_n выбирают ближайший стандартный класс качества и назначают допуски на составляющие размеры в выбранном классе качества. Из-за возможного несовпадения величины a_n с числом единиц допуска в классе качества назначенные допуски корректируются с учетом конструктивно-эксплуатационных требований и технологии изготовления размера.

При этом должно выполняться условие

$$IT A_0 \geq \sum_{i=1}^{n-1} IT A_i.$$

Решение задачи способом равных классов качества является более обоснованным по сравнению со способом равных допусков.

3. ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

При расчете размерных цепей методом максимума-минимума предполагалось, что в процессе обработки и сборки возможно одновременное сочетание наибольших увеличивающих и наименьших уменьшающих размеров или обратное их сочетание, что приводит к снижению точ-

Т а б л и ц а 1

Интервал размеров, мм Значение единицы до- пуска, мм	До 3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80
		0,55	0,73	0,90	1,08	1,31	1,56
Интервал размеров, мм Значение единицы до- пуска, мм	80-120	120-180	180-250	250-315		315-400	400-500
	2,17	2,52	2,90	3,23		3,54	3,89

Т а б л и ц а 2

Квалитет	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Значение коэффици- ента "q"	17	10	16	16	16	25	40	164	1100	160	1250	1400	1640	11000	11600

ности замыкающего звена или к уменьшению допуска составляющих звеньев. Но такое сочетание маловероятно, так как отклонения размеров в основном группируются около середины поля допуска. Если допустить ничтожно малую вероятность (0,27%) несоблюдения предельных значений замыкающего размера, то можно значительно расширить допуски составляющих размеров и тем самым снизить себестоимость изготовления деталей. На этом принципе и основан теоретико-вероятностный метод расчета размерных цепей.

3.1. Определение номинального размера, предельных отклонений и допуска замыкающего звена

Номинальный размер замыкающего звена определяется так же, как и при методе максимума-минимума. Полагая, что погрешности составляющих и замыкающего размеров подчиняются закону нормального распределения, а границы их вероятного рассеяния (6 σ) совпадают с границами полей допусков можно принять

$$\begin{aligned} ITA_i &= 6\sigma_{Ai} \quad \text{или} \quad \sigma_{Ai} = 1/6 ITA_i \\ \text{Соответственно} \quad ITA_0 &= 6\sigma_{A_0} \quad \text{или} \quad \sigma_{A_0} = 1/6 ITA_0 \end{aligned}$$

При этом у 0,27% деталей размеры замыкающих звеньев могут выходить за пределы поля допуска. Тогда допуск замыкающего звена можно подсчитать по формуле

$$ITA_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} ITA_i^2} \quad (4)$$

При использовании других законов распределения (закон равной вероятности, закон Симпсона и т.д.) в формулу (4) необходимо вводить коэффициенты K_i [1].

Если все составляющие звенья имеют симметричные относительно номинального размера допуск, то и замыкающее звено имеет симметричный допуск и его предельные отклонения определяются по формулам:

$$\begin{aligned} E_S(A_0) &= + \frac{IT A_0}{2}; \\ E_I(A_0) &= - \frac{IT A_0}{2}, \end{aligned}$$

где E_S и E_I - верхнее и нижнее предельные отклонения размеров.

В противном случае для определения предельных значений замы-

каждого звена необходимо ввести понятие координаты середины поля допуска E_C , которая рассчитывается по формуле

$$E_C(A_0) = \sum E_C(A_i)_{ув} - \sum E_C(A_0)_{ум}.$$

Тогда наибольший предельный размер замыкающего звена

$$A_{0\text{макс}} = E_C(A_0) + \frac{IT A_0}{2};$$

наименьший предельный размер замыкающего звена

$$A_{0\text{мин}} = E_C A_0 - \frac{IT A_0}{2}.$$

3.2. Определение предельных отклонений и допусков составляющих звеньев

Допуски составляющих размеров размерной цепи при заданном допуске замыкающего размера определяются теми же двумя способами, что и при методе максимума-минимума.

При решении по способу равных допусков принимают:

$$IT A_1 = IT A_2 = \dots IT A_n A_i.$$

Тогда среднее значение допуска составляющих звеньев

$$IT_n A_i = \frac{IT A_0}{\sqrt{n-1}}.$$

Найденное значение $IT_n A_i$ корректируется с учетом тех же требований.

При способе назначения допусков одного качества среднее количество единиц допуска a_n определяется по формуле

$$a_n = \frac{IT A_0}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (0,45\sqrt{D} + 0,001D)^2}}.$$

Далее, как и по способу максимума-минимума, выбирается ближайший класс, и допуски корректируются из условий конструктора и технологических возможностей.

4. МЕТОД ДОСТИЖЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ ЗАМЫКАЮЩЕГО ЗВЕНА

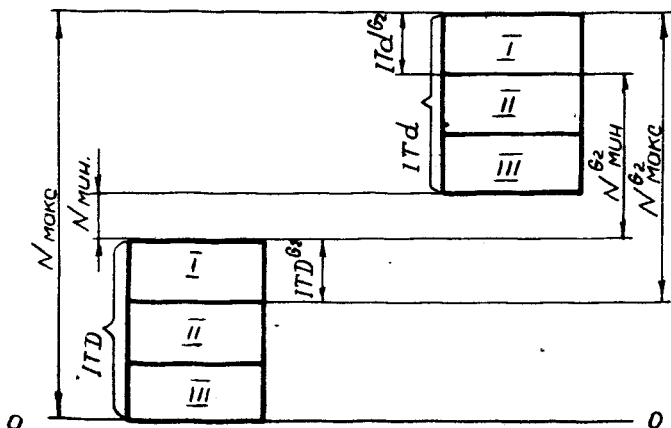
Метод полной взаимозаменяемости — это метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается при включении в нее или замены в ней любого звена без выбора, подбора или изменения его величин. Расчет размеров цепей на

полную взаимозаменяемость должен вестись методом максимума-минимума.

Метод неполной взаимозаменяемости – это метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается не у всех объектов, а у заранее обусловленной их части при включении в нее или замене в ней любого звена без выбора, подбора или изменения их величины. Расчет размерных цепей в этом случае должен вестись теоретико-вероятностным методом.

Метод групповой взаимозаменяемости (метод селективной сборки) – это изготовление деталей со сравнительно широкими допусками, сортировка сопрягаемых деталей на равное число групп с более узкими групповыми допусками и сборка деталей из одноименных групп.

При селективной сборке наибольшие зазоры (в подвижных посадках) и наибольшие натяги (в неподвижных посадках) уменьшаются, а наименьшие увеличиваются, приближаясь с увеличением числа групп сортировки к средней величине зазора или натяга посадки (рис. 3). В переходных посадках наибольшие зазоры и натяги уменьшаются, приближаясь с ростом числа групп к тому натягу или зазору, который соответствует серединам полей допусков деталей.



Р и с. 3. Схема полей допусков групп для селективной сборки.

Для установления числа групп n сортировки деталей необходимо знать либо требуемые предельные значения зазоров или натягов, определяемые эксплуатационными требованиями, либо допустимую величину группового допуска отверстия ITD^{G_2} или вала ITd^{G_2} , определяемые экономической точностью изготовления и сборки.

Для повышения долговечности подвижных соединений при сборке необходимо обеспечить наименьший допустимый зазор, а для повышения надежности соединений с натягом - наибольший допустимый натяг [1]. Подсчитать число групп можно по уравнениям: при заданном минимальном зазоре в группах $S_{\text{мин}}^{G_2}$ (для подвижных посадок)

$$S_{\text{мин}}^{G_2} = S_{\text{мин}} + ITd - \frac{ITd}{n},$$

откуда

$$n = \frac{ITd}{S_{\text{мин}}^{G_2} - S_{\text{мин}} + ITd - S_{\text{мин}}^{G_2}};$$

где $S_{\text{мин}}^{G_2}$ - минимальный зазор в группах;
 ITd - допуск.

При заданном максимальном натяге в группах $N_{\text{макс}}^{G_2}$ (для неподвижных посадок)

$$N_{\text{макс}}^{G_2} = N_{\text{макс}} - ITD + \frac{ITD}{n},$$

откуда

$$n = \frac{ITD}{N_{\text{макс}}^{G_2} - N_{\text{макс}} + ITD - N_{\text{макс}}^{G_2}};$$

где $N_{\text{макс}}^{G_2}$ - максимальный натяг в группах;
 ITD - допуски отверстия.

При заданной величине группового допуска ITD^{G_2} или ITd^{G_2}

$$n = \frac{ITd}{ITd^{G_2}} \quad \text{или} \quad n = \frac{ITD}{ITD^{G_2}}.$$

Практически $n_{\text{макс}} = 4 \dots 5$ и лишь в подшипниковой промышленности n достигает 10 и более.

Селективная сборка позволяет в n раз увеличить точность сборки без уменьшения допусков на изготовление деталей. Однако этот вид сборки имеет и недостатки: усложненный контроль, увеличение трудоемкости разборки деталей на группы, увеличение незавершенного производства из-за разного количества деталей в парных группах, неполная взаимозаменяемость. Поэтому применение селективной сборки целесообразно только в массовом и крупносерийном производстве, где затраты на сортировку окупятся высоким

качеством изделий.

Метод регулирования — он предполагает такой расчет размеров цепей, при котором заданная точность замыкающего звена достигается изменением (регулированием) одного заранее выбранного составляющего размера, называемого компенсатором. Роль компенсатора обычно выполняет специальное звено в виде прокладки, регулируемого упора, клина и т.д. При этом все остальные составляющие размеры цепи изготавливаются с расширенными, экономически целесообразными допусками.

Номинальный размер компенсирующего звена K определяется из уравнения

$$A_0 = \sum A_{i,увел} - \sum A_{j,ум} \pm K.$$

Значение K берется со знаком "плюс", когда он является увеличивающим размером, и со знаком "минус", когда он уменьшающий.

Метод регулирования позволяет достигнуть высокой точности соединения и поддерживать эту точность в процессе эксплуатации, но приводит к увеличению числа деталей в машине, что усложняет конструкцию, процесс сборки и эксплуатацию.

Метод пригонки — при этом методе предписанная точность замыкающего размера достигается дополнительной обработкой при сборке детали по одному из заранее выбранному размеру цепи. Остальные размеры выполняются с расширенными экономически целесообразными допусками. Для того чтобы пригонка всегда осуществлялась за счет выбранного размера, необходимо по этому размеру оставлять припуск, достаточный для пригонки, но вместе с тем он должен быть минимальным для сокращения объема пригоночных работ.

Способ пригонки применяется в единичном и мелкосерийном производстве, когда нельзя использовать другие средства достижения требуемой точности.

Л и т е р а т у р а

Г. Я к у щ е в А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. -М.: Машиностроение, 1979.

Редакторы-составители: Федор Прокофьевич Урывский,
Борис Николаевич Уланов,
Владимир Николаевич Трусов

РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

Редактор Э.Г р я з н о в а
Техн. редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор М.И. Л о г у н о в а

Подписано в печать 10.01.63. Формат 60x84 1/16.
Бумага оберточная белая. Оперативная печать.
Усл.п.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,9. Тираж 500 экз.
Заказ 461 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева, г.Куйбышев, ул.Моло-
догвардейская, 151.

Типография имени В.П.Мяги, г.Куйбышев, ул.Венцека, 60.