

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОТНОСИТЕЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ**Артамонова Д. А., Дубровский С. С.**

Обоснована необходимость расчета размерных цепей. Представлены основные методы расчета относительного расположения поверхностей и осей деталей в сборочных узлах. Обоснована необходимость в выявлении и расчете угловых размерных цепей для выявления относительного смещения, относительного перекоса и общей погрешности положения, что на сегодняшний день находится в стадии разработки и уточнения. Предложено изображение угловых размерных цепей с использованием теории графов, уточнены выражения для их расчета методами $\max - \min$ и вероятностным методом, с включением в расчет зазоров и отклонений от расположения поверхностей. Приведена наглядная схема изображения угловых размерных цепей, использующая теорию графов.

Обґрунтовано необхідність розрахунку розмірних ланцюгів. Представлені основні методи розрахунку відносного розміщення поверхонь і вісей деталей в складальних вузлах. Обґрунтовано необхідність у виявленні і розрахунку кутових розмірних ланцюгів для визначення відносного зміщення, відносного перекосу і загальної похибки положення, що на сьогоднішній день знаходиться на стадії розробки та уточнення. Запропоновано зображувати кутові розмірні ланцюги із використанням теорії графів, уточнені рівняння для їх розрахунку методами $\max - \min$ та вірогіднісним методом, із включенням до розрахунку зазорів і відхилень від розташування поверхонь. Наведено наглядну схему зображення кутових розмірних ланцюгів, використовуючи теорію графів.

Justified by the need to calculate the size of chains. The basic methods of calculating the relative position of surfaces and axle parts in subassemblies. Justified by the need to identify and calculate the angular size of chains to identify the relative displacement of the relative bias and the overall position error, which is currently under development and refinement. Proposed image of the angular size of chains using graph theory, refined expressions for their calculation methods $\max - \min$ and the probabilistic method, with the inclusion in the calculation of gap and deviations from the position of surfaces. Image shows an illustrative diagram of the angular size of chains, using graph theory.

Артамонова Д. А.

канд. техн. наук, доц. ГВУЗ «КНУ»

Дубровский С. С.

канд. техн. наук, доц. ГВУЗ «КНУ»

Sergei.Dubrovski@mail.ru

ГВУЗ «КНУ» – Государственное высшее учебное заведение «Криворожский технический университет», г. Кривой Рог.

УДК 621:7 (083)

Артамонова Д. А., Дубровский С. С.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОТНОСИТЕЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Теория размерных цепей сравнительно молодая наука, имеющая несколько школ, руководимых известными учеными Б. С. Балакшиным, Н. А. Бородачевым, П. Ф. Дунаевым [1–5].

В настоящее время расчет размерных цепей достаточно широко используется в машиностроении при массовом типе производства с высокими требованиями к точности. В горном машиностроении ввиду серийности выпуска изделий и относительной сложности расчетов применение теории размерных цепей не нашло должного распространения. Если на расчет линейных размерных цепей разработан ГОСТ 16320-80 [7], включающий в себя методику изображения размерных цепей, расчета прямой и обратной задач методом $\max - \min$ и вероятностным, то методы изображения, выявления и расчета угловых размерных цепей находятся в стадии разработки и уточнения.

Целью работы является разработка метода расчета угловых размерных цепей.

Угловые размерные цепи определяют точность относительного положения (отклонение от параллельности, соосности, перпендикулярности и т. д.) поверхностей, осей или их сочетаний. В результате расчета находится относительное смещение, относительный перекос и общая погрешность положения, как вероятность их совместного взаимодействия.

В большинстве случаев угловые размерные цепи определяют соосность деталей, лежащих на одной оси, поэтому изображение такой размерной цепи представляет собой некоторую сложность. По методике, предложенной Б. С. Балакшиным, угловые размерные цепи включают в себя как линейные размеры, так и отклонение от расположения поверхностей. Линейные размеры изображаются в виде размерных линий с двумя стрелками, а отклонения от расположения – угловые звенья, в виде однонаправленных стрелок от условно изображенных осей или поверхностей. Линейные звенья размерной цепи обозначаются заглавными буквами латинского алфавита, а угловые прописными буквами [4]. Примеры изображения угловых размерных цепей приведены на рис. 1.

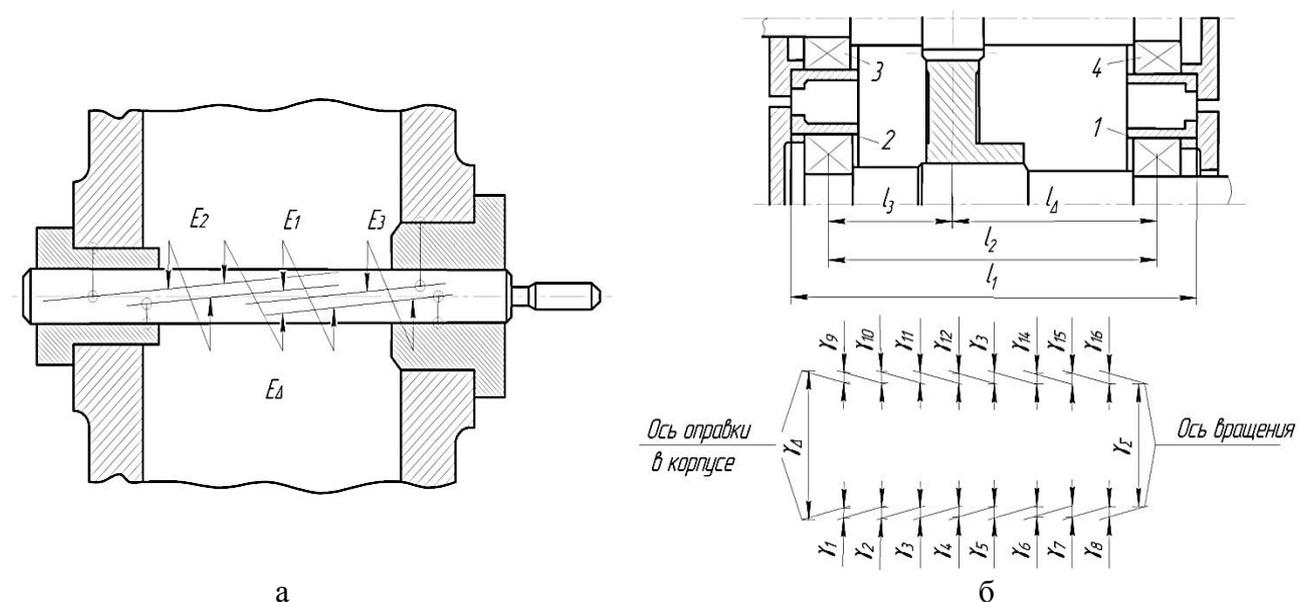


Рис. 1. Примеры изображения угловых размерных цепей:
а – по Б. С. Балакшину; б – по П. Ф. Дунаеву

На рис. 1, а представлена простейшая размерная цепь, определяющая отклонение от соосности осей отверстий в оправках [7]. Каждый размер на схеме изображен в виде расстояния между двумя условными осями, привязанными безымянными линиями к поверхностям, указывающим, осью чего они являются. Таким образом, размерная цепь имеет в два раза больше обозначений, чем деталей в цепи, что затрудняет чтение чертежа.

На рис. 1, б изображена размерная цепь, определяющая погрешность межосевого расстояния в плоскости зацепления зубчатых колес в редукторе [1]. Здесь каждое звено нуждается в дополнительном описании его принадлежности, и размерная цепь не связана с чертежом. Таким образом, существующие схемы весьма умозрительны и громоздки.

В связи с вышеизложенным, в работе предложена схема изображения угловых размерных цепей на основе теории графов [6]. Для построения размерных цепей проводят секущие плоскости по базирующим сопряжениям, которые отвечают за точность положения узла. Всем поверхностям, попадающим в сечения, присваиваются порядковые номера, которые на схеме размерной цепи помещаются в кружочек ① - ⑩. Зазоры между поверхностями представляют собой скалярную величину и изображаются ломаной линией S_i , отклонение от соосности обозначается в виде однонаправленного вектора e_j с индексом поверхности, отклонение от соосности которой определяется. Как правило, отклонение от соосности находится через радиальное биение, указанное на чертеже и равно его половине. Замыкающее (исходное) звено e_Σ обозначается линией с двумя стрелками.

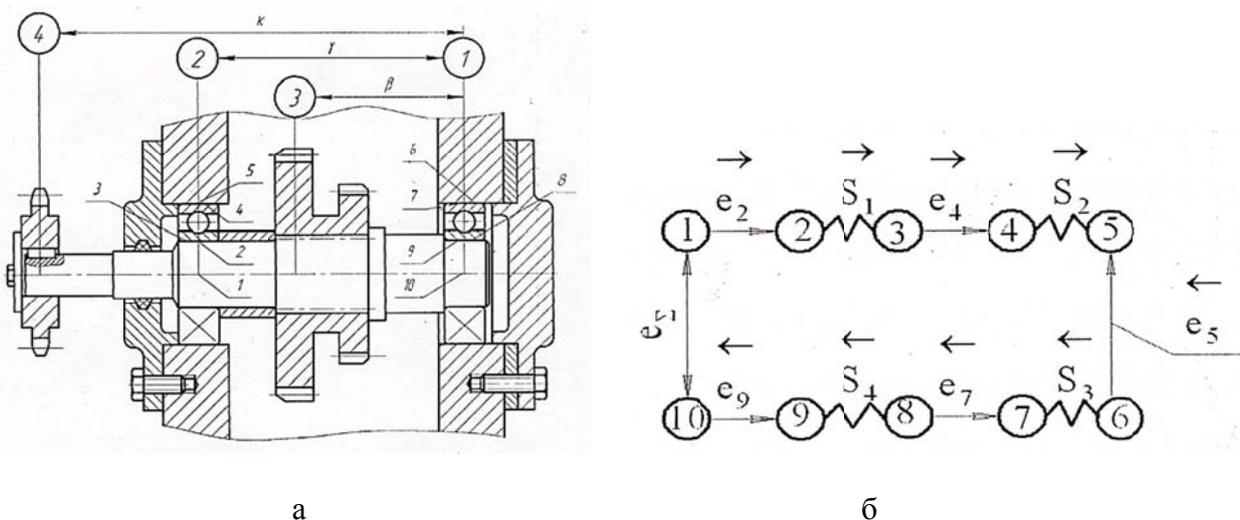


Рис. 2. Схемы угловых размерных цепей редуктора:
а – схема секущих плоскостей; б – схема угловой размерной цепи γ

На рис. 2, а изображен вал редуктора, установленный в корпус на подшипниках качения и несущий звездочку и блок шестерен.

Угловая размерная цепь γ будет иметь вид, изображенный на рис. 2, б. Здесь: $S_1 = S_4$ – зазоры при посадке подшипника на вал; $S_2 = S_3$ – зазоры при посадке подшипника в корпус; e_2 и e_9 – половины радиальных биений посадочных шеек вала; e_4 и e_7 – половины радиальных биений подшипников; e_6 – отклонение от соосности отверстий в корпусе; e_Σ – отклонение от соосности осей вала в противоположных стенках корпуса.

Необходимо определить погрешность положения шестерни (сечение 3) и звездочки (сечение 4). Погрешность их положения будет зависеть от зазоров и отклонений от соосности деталей, попавших в сечение 1–2 (цепь γ). Таким образом, предложена наглядная схема изображения угловых размерных цепей, использующая теорию графов.

Методику расчета угловых размерных цепей поясняет рис. 3.

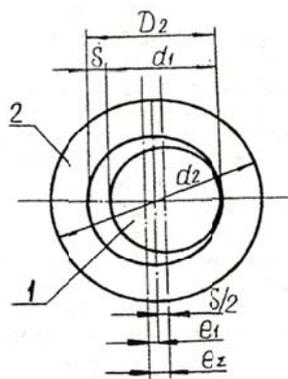


Рис. 3. Влияние отклонений от расположения поверхностей на замыкающее звено в угловой размерной цепи

Смещение e_{Σ} оси поверхности d_2 относительно оси вала d_1 будет зависеть от зазора S между деталями 1 и 2, эксцентриситета e_1 втулки (отклонение от соосности поверхности d_2 и D_2) и определяется из выражения:

$$e_{\Sigma} = \frac{S}{2} + e_1.$$

При расчете по методу max – min предельные значения будут равны:

$$e_{\Sigma \max} = \frac{S_{\max}}{2} + e_1; \quad e_{\Sigma \min} = \frac{S_{\min}}{2}.$$

При вычитании получим:

$$T_{e_{\Sigma}} = 0,5T_{S_i} + T_e,$$

т. к. $T_e = e$, то будем иметь в обобщенном виде:

$$e_{\Sigma} = 0,5 \sum_{i=1}^n T_{S_i} + \sum_{j=1}^m e_j, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^n T_{S_i}$ – сумма n допусков на зазоры;

$\sum_{j=1}^m e_j$ – сумма m отклонений от соосности.

Координата середины поля допуска em_i определится по выражению:

$$em_{e_{\Sigma}} = \sum_{i=1}^n (em_{S_i}^{\rightarrow} + 0,5e_i^{\rightarrow}) - \sum_{j=1}^m (em_{S_j}^{\leftarrow} + 0,5e_j^{\leftarrow}), \quad (2)$$

где $em_{S_i}^{\rightarrow}$ – координата середины поля допуска зазора увеличивающего звена;

$em_{S_j}^{\leftarrow}$ – координата середины поля допуска зазора уменьшающего звена;

\rightarrow \leftarrow

e_i, e_j – отклонение от соосности соответственно увеличивающих и уменьшающих звеньев.

Для определения направления стрелки одно из сечений выбирают основным (например, 1) и все звенья, попадающие в него, будут увеличивающими, а в противоположном – уменьшающими. В рассматриваемом примере при вычитании получим $em_{e_{\Sigma}} = 0,5e_{\Sigma}$.

Предельные отклонения замыкающего звена находятся по известным выражениям [2]:

$$e_{\Sigma \max} = em_{e\Sigma} + \frac{e_{\Sigma}}{2}; \quad e_{\Sigma \min} = em_{e\Sigma} - \frac{e_{\Sigma}}{2}. \quad (3)$$

При расчете по вероятному методу учитывается, что величины, входящие в выражение (1), независимые и некоррелированные, поэтому относительное смещение будет определяться по формуле:

$$e_{\Sigma} = 1/K_{\Sigma} \sqrt{0,25 \sum_{i=1}^n K_i^2 T_{Si}^2 + \sum_{j=1}^m K_j^2 e_j^2}, \quad (4)$$

где K – коэффициент рассеивания размеров.

Для проектных расчетов, когда неизвестны действительные размеры деталей, значения коэффициентов принимают следующими: $K_{\Sigma} = 1$ для цепей с количеством звеньев больше 5; $K_i = 1,2$ для диаметральных размеров; $K_j = 0,75$ для радиальных биений. Тогда выражение (4) приобретает вид:

$$e_{\Sigma} = \sqrt{0,36 \sum_{i=1}^n T_{Si}^2 + 0,56 \sum_{j=1}^m e_j^2}. \quad (5)$$

Координата середины поля допуска при расчете по вероятностному методу определяется по выражению:

$$em_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \left[em_{Si}^{\rightarrow} + 0,5 e_i + 0,5 \cdot \alpha \left(T_{Si}^{\rightarrow} + e_i \right) \right] - \sum_{j=1}^m \left[em_{Sj}^{\leftarrow} + 0,5 e_j + 0,5 \cdot \alpha \left(T_{Sj}^{\leftarrow} + e_j \right) \right] - 0,5 \cdot \alpha_{\Sigma} \cdot e_{\Sigma}, \quad (6)$$

где α – коэффициент эксцентриситета, характеризующий несовпадение размера настройки x_i и координаты середины поля допуска размера.

Для проектных целей принимают: $\alpha_{\Sigma} = 0$; $\alpha_i = 0,1$; $\alpha_j = -0,1$.

При проектных расчетах выражение (6) примет вид:

$$em_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \left[em_{Si}^{\rightarrow} + 0,5 e_i + 0,05 \left(T_{Si}^{\rightarrow} + e_i \right) \right] - \sum_{j=1}^m \left[em_{Sj}^{\leftarrow} + 0,5 e_j + 0,05 \left(T_{Sj}^{\leftarrow} + e_j \right) \right]. \quad (7)$$

Предельные отклонения замыкающего звена определяются из выражения (3).

В целом величина относительного смещения зависит от зазоров, отклонений от расположения поверхностей, попадающих в опорные сечения, и определяется по выражениям (1) или (5). Она будет иметь одинаковую величину во всех сечениях вала.

Относительный перекося в различных сечениях вала будет разным и может изменяться в пределах смещения осей на поверхностях базирования, в рассматриваемом случае в подшипниковых узлах.

Относительный перекося осей, поверхностей или их сочетаний может измеряться в линейных или угловых величинах развернутым или упрощенным методом.

При расчете величины перекося в линейных величинах упрощенным методом полагают, что перекося возможен в пределах зазоров и эксцентриситетов, учтенных при определении e_{Σ} .

Тогда возможны два варианта, схемы которых изображены на рис. 4, где колеса или звездочка могут располагаться внутри редуктора, либо консольно относительно опор.

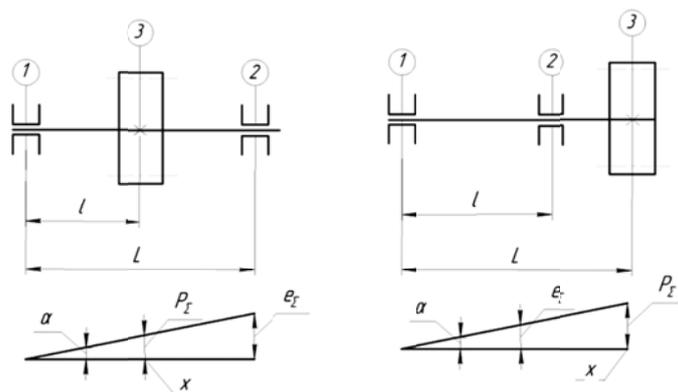


Рис. 4. Расчетная схема для определения относительного перекоса

За исходное принимаем сечение 1 и определяем перекос в сечениях 2 и 3. Перекос в сечении 2 будет равным e_{Σ} , а перекос в сечении 3 определится из соотношения треугольников при равенстве угла α :

$$\frac{e_{\Sigma}}{L} = \frac{P_{\Sigma}}{l} \Rightarrow P_{\Sigma} = \frac{e_{\Sigma} \cdot l}{L},$$

если принять соотношение $\frac{l}{L} = C$, то:

$$P_{\Sigma} = C \cdot e_{\Sigma}, \quad (8)$$

где C – коэффициент приведения, равный соотношению длин.

Выражение (8) пригодно для расчета по методу max – min, а для вероятностного метода оно примет вид:

$$P_{\Sigma} = \sqrt{C^2 \cdot e_{\Sigma}^2}. \quad (9)$$

Суммарная погрешность положения оси будет определяться как случайная величина:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{e_{\Sigma}^2 + p_{\Sigma}^2}. \quad (10)$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, предложено изображение угловых размерных цепей с использованием теории графов, уточнены выражения для их расчета методами max – min и вероятностным методом, с включением в расчет зазоров и отклонений от расположения поверхностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дунаев П. Ф. Расчет допусков размеров / П. Ф. Дунаев, О. Т. Леликов. – М. : Машиностроение, 1981. – 189 с.
2. Солонин И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И. С. Солонин, С. И. Солонин. – М. : Машиностроение, 1980. – 231 с.
3. Размерный анализ конструкций : справочник / С. Г. Бондаренко и др. – К. : Техника, 1989. – 358 с.
4. Балакишин Б. С. Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакишин. – М. : Машиностроение, 1969. – 358 с.
5. Фридендер И. Г. Расчеты точности машин при проектировании / И. Г. Фридендер. – Киев-Донецк : Высшая школа, 1980. – 184 с.
6. Оре Л. Теория графов / Л. Оре. – М. : Наука, 1987. – 241 с.
7. Проектирование технологии : учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / И. М. Баранчукова, А. А. Гусев, Ю. Б. Крамаренко и др. ; под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1990. – 416 с.