

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТНЫХ РАСЧЁТОВ УГЛОВЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ СПОСОБОМ РАВНОТОЧНЫХ ДОПУСКОВ

Проектирование надёжных и точных машин, эффективных техпроцессов сборки и механической обработки их комплектующих деталей невозможно без комплексного размерного анализа объектов проектирования на основе выявления и решения конструкторских и технологических размерных цепей. На основе проектных расчетов размерных цепей можно определить технически обоснованные требования к точности размеров комплектующих деталей, исходя из требуемой точности важных функциональных геометрических параметров машины, формирующихся при ее сборке, а также определить точность выполнения технологических размеров исходя из точности чертежных размеров детали при ее мехобработке.

Методика проектных расчетов линейных размерных цепей достаточно подробно разработана и описана в учебной и специальной технической литературе [2]. В то же время, вопросам выявления и решения угловых размерных цепей уделяется неоправданно мало внимания, несмотря на ряд объективных факторов, определяющих их важность:

- в большинстве случаев требуемый уровень точности размеров, определяющих угловое положение поверхностей деталей сборочных единиц (отклонение от перпендикулярности, параллельности, наклона поверхностей, торцевого биения и др.) значительно выше уровня точности линейных размеров, связывающих указанные поверхности. По ГОСТ 24643-81 допуски формы и расположения не должны превышать определенной доли от соответствующего линейного размера (60% - для нормальной, 40% - для повышенной, 25% - для высокой геометрической точности);
- для достижения высокой точности угловых замыкающих размеров при сборке, технически затруднительно использовать методы пригонки, регулирования, селективной сборки. Эта точность достигается методами полной и неполной взаимозаменяемости, что предполагает достаточно высокую точность получения угловых размеров при изготовлении деталей;
- точность углового положения поверхностей деталей при мехобработке так же обеспечивается методами полной и неполной взаимозаменяемости и зависит от точности угловых положений элементов станков, приспособлений, инструментов, так как на большинстве металлорежущих станков отсутствуют механизмы регулировки угловых положений рабочих органов.

Таким образом, во многих случаях проектные расчеты угловых размерных цепей имеют приоритетное значение для обеспечения точности сборки машин и изготовления деталей.

Несмотря на то, что основные положения теории линейных размерных цепей приемлемы и для угловых размерных цепей, расчеты последних не находят широкого применения в практике проектирования машин и техпроцессов. Это объясняется трудностями выявления, восприятия и изображения схем угловых размерных цепей, своеобразием построения системы допусков угловых размеров и отсутствием методики проектных расчетов, пригодной для практики.

Основой проектного расчета любой размерной цепи является способ распределения допуска замыкающего звена на

составляющие звенья. По аналогии с линейными размерными цепями для угловых цепей целесообразно использовать способ равноточных допусков, то есть допуски всех составляющих звеньев принимать по одной степени точности. Используемые на практике способы равных допусков и подбора допусков имеют существенные недостатки. Бессистемный подбор допусков углов требует больших затрат времени. Принимая равные допуски на угловые размеры при разной длине границ углов, можно назначить на углы с длинными сторонами технически и экономически неприемлемый уровень точности. Более рационально допуск на угловой размер определять с учетом длин его границ, что и позволяет сделать метод равноточных допусков.

Метод равноточных допусков может быть реализован при условии, что допуски на все составляющие звенья могут быть приняты из одной системы допусков, правила построения которой позволяют получить выражение для расчета номера степени точности, одинаковой для всех составляющих звеньев, в зависимости от допуска замыкающего звена, длин границ углов и параметров системы допусков.

Несмотря на то, что система допусков параллельности, перпендикулярности, наклона, торцевого биения и система допусков углов регламентируется разными стандартами (ГОСТ 24643-81 и ГОСТ 8908-81 соответственно), они построены по единым принципам, имеют одинаковые интервалы длин, набор степеней точности и значений допусков (при выражении допусков углов в линейных единицах в виде катета). Это позволяет использовать метод равноточных допусков для решения размерных цепей, имеющих в качестве составляющих звеньев, как углы, так и отклонения от перпендикулярности, параллельности, торцевого биения и наклона.

Выражение для расчета номера степени точности разработаем на основе принципов построения указанных систем допусков.

Значения указанных допусков изменяются в пределах одной степени точности, в зависимости от значения длины меньшей стороны угла по ряду предпочтительных чисел  $Ra10$  с коэффициентом геометрической прогрессии  $\lambda = \sqrt[10]{10} \approx 1,25$ . В пределах одного интервала длин допуски изменяются в зависимости от степени точности по ряду предпочтительных чисел  $Ra5$  с коэффициентом геометрической прогрессии  $\phi = \sqrt[5]{10} \approx 1,6$ . [1,2]

С учетом указанных принципов построения системы допусков, любое значение допуска можно выразить формулой

$$AT_i = AT_1 \cdot \phi^{n-1} \cdot \lambda^{m-1}, \quad (1)$$

где:  $AT_1 = 0,4$  мкм – исходный минимальный допуск для первой степени точности и первого интервала длин;

$n$  – номер степени точности допуска;

$m$  – номер интервала минимальной длины стороны нормируемого угла.

В то же время границы интервалов длин системы допусков сами являются членами геометрической прогрессии с

коэффициентом  $\varepsilon = \sqrt[3]{10} \approx 1,6$  в зависимости от номера интервала. [1] Тогда верхняя граница любого интервала длин может быть определена по формуле

$$L_i = L_1 \cdot \varepsilon^{m-1}, \quad (2)$$

где  $L_1$  – верхняя граница первого интервала длин.

После логарифмирования уравнения (2) найдем выражение для  $m-1$

$$\ln L_i = \ln L_1 + (m-1) \cdot \ln \varepsilon;$$

$$m-1 = \frac{\ln L_i - \ln L_1}{\ln \varepsilon}.$$

Тогда

$$AT = AT_1 \cdot \varphi^{n-1} \cdot \lambda \frac{\ln L_1}{\ln \varepsilon} \cdot \left( \lambda \frac{1}{\ln \varepsilon} \right)^{\ln L_i} \quad (3)$$

При полной взаимозаменяемости составляющих звеньев, сумма угловых допусков составляющих звеньев, приведённых к одинаковой базовой длине, должна быть равна угловому допуску замыкающего звена, приведённому к той же базовой длине.

Для упрощения последующих выражений принимаем значение базовой длины 1 мм и приведённые значения допусков получим, разделив их на длину малой стороны соответствующего угла.

При этом, соотношение приведённых допусков составляющих звеньев и замыкающего звена запишется следующим образом

$$\frac{AT_{\Delta}}{L_{\Delta}} = \sum_{i=1}^k \frac{AT_i}{L_i} = \sum_{i=1}^k \frac{AT_1 \cdot \varphi^{n_i-1} \cdot \lambda \frac{\ln L_1}{\ln \varepsilon} \cdot \left( \lambda \frac{1}{\ln \varepsilon} \right)^{\ln L_i}}{L_i} \quad (4)$$

где  $AT_{\Delta}$  – заданный допуск замыкающего звена, мкм;

$L_{\Delta}$  – меньшая сторона замыкающего звена, мм;

$i$  – номер составляющего углового звена;

$k$  – число составляющих звеньев;

$L_i$  – верхняя граница интервала длин, в который попадает меньшая сторона  $i$ -го звена, мм.

При условии, что  $n_i$  одинаково для всех составляющих звеньев, первые три сомножителя выносим за знак суммы и после алгебраических преобразований и логарифмирования получим уравнение для определения номера степени точности составляющих звеньев

$$\frac{AT_{\Delta}}{L_{\Delta}} = AT_1 \cdot \varphi^{n-1} \cdot \lambda \frac{\ln L_1}{\ln \varepsilon} \cdot \sum_{i=1}^k \frac{\left( \lambda \frac{1}{\ln \varepsilon} \right)^{\ln L_i}}{L_i};$$

$$\varphi^{n-1} = \frac{AT_{\Delta}}{L_{\Delta} \cdot AT_1 \cdot \lambda \frac{\ln L_1}{\ln \varepsilon} \cdot \sum_{i=1}^k \frac{\left( \lambda \frac{1}{\ln \varepsilon} \right)^{\ln L_i}}{L_i}}$$

$$n = \frac{1}{\ln \varphi} \cdot \left[ \ln \frac{AT_{\Delta}}{L_{\Delta} \cdot AT_1 \cdot \lambda \frac{\ln L_1}{\ln \varepsilon}} - \ln \sum_{i=1}^k \frac{\left( \lambda \frac{1}{\ln \varepsilon} \right)^{\ln L_i}}{L_i} \right] + 1. \quad (5)$$

С учетом численных значений постоянных параметров ( $\varphi \approx 1,25$ ;  $AT_1 = 0,4$  мкм;  $\lambda = 1,25$ ;  $L_1 = 10$  мм;  $\varepsilon \approx 1,6$ ) получаем окончательное уравнение для определения номера степени точности.

$$n = 2,18 \cdot \left[ \ln \frac{7,46 \cdot AT_{\Delta}}{L_{\Delta}} - \ln \sum_{i=1}^k \frac{1,6^{\ln L_i}}{L_i} \right] + 1. \quad (6)$$

В случае, если допуск замыкающего звена задан в угловой мере  $AT_{\alpha\Delta}$ , формула (6) может использоваться в следующем виде

$$n = 2,18 \cdot \left[ \ln (7460 \cdot tg AT_{\alpha\Delta}) - \ln \sum_{i=1}^k \frac{1,6^{\ln L_i}}{L_i} \right] + 1 \quad (7)$$

При наличии в размерной цепи угловых звеньев, принадлежащих стандартным деталям или звеньев, допуски которых определены из расчёта других размерных цепей, расчёт номера степени точности следует вести по остаточной величине допуска замыкающего звена  $AT'_{\Delta}$  или  $AT'_{\alpha\Delta}$

$$\frac{AT'_{\Delta}}{L_{\Delta}} = \frac{AT_{\Delta}}{L_{\Delta}} - \sum_{j=1}^p \frac{AT_j}{L_j} \quad (8)$$

или

$$tg AT'_{\alpha\Delta} = tg AT_{\alpha\Delta} - \sum_{j=1}^p tg AT_{\alpha j}, \quad (9)$$

где:  $p$  – число известных звеньев;

$j$  – номер известного звена.

Найденное значение номера степени точности округляют до ближайшего меньшего целого значения и по нему назначают допуски на составляющие угловые звенья по таблицам допусков углов (по ГОСТ 8908-81) или допусков перпендикулярности, параллельности, торцового биения и наклона (по ГОСТ 24643-81).

Сумма назначенных приведенных допусков не должна превышать приведенного допуска замыкающего звена.

Выражения, полученные для расчета номера степени точности имеют достаточно компактный вид и вполне пригодны для практических расчетов. Они прошли многократную апробацию при выполнении студентами практических работ и курсовых проектов по специальности «Технология, оборудование и автоматизация машиностроения».

Поясним применение разработанной методики на примере решения угловой конструкторской сборочной размерной цепи плунжерного насоса, изображенной на рисунке 1. Замыкающим звеном цепи является перекос осей отверстия плунжера и расточки корпуса  $\alpha_{\Delta}$ . Составляющие звенья заключены между основными (ОКБ) и вспомогательными (ВКБ) конструкторскими базами. Расчёт ведём для следующих исходных данных:  $AT_{\Delta} = 500$  мкм;  $L_{\Delta} = 10$  мм;  $L_1 = 25$  мм;  $L_2 = 25$  мм;  $L_3 = 40$  мм;  $L_4 = 160$  мм;  $L_5 = 10$  мм.

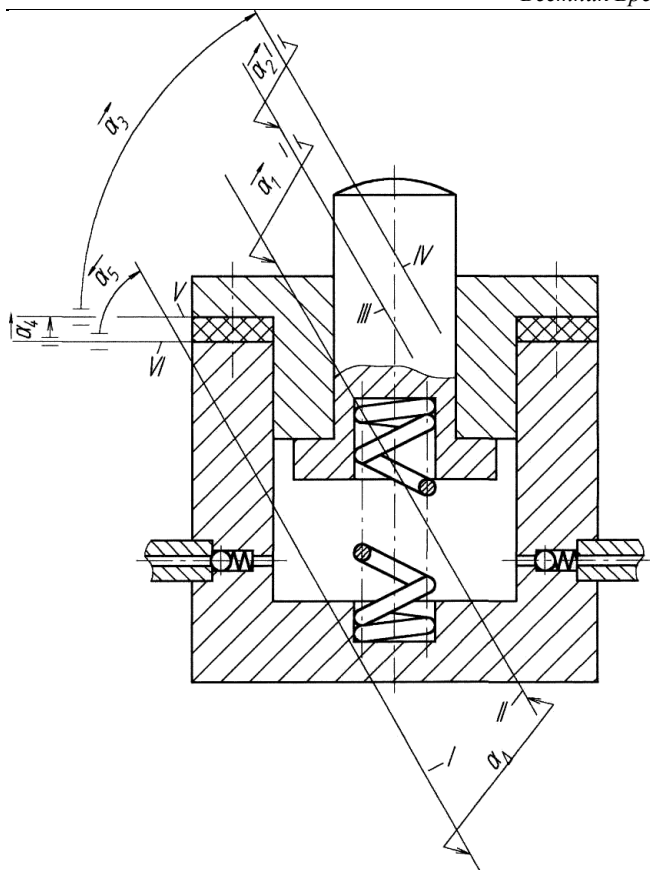


Рис. 1. Схема угловой сборочной конструкторской размерной цепи для исходного звена от плунжерного насоса:

$\alpha_1$  - отклонение от соосности оси II отверстия плунжера от оси III наружного цилиндра плунжера (ОКБ плунжера);  $\alpha_2$  - отклонение от соосности оси III наружного цилиндра плунжера от оси IV отверстия втулки (ОКБ втулки) за счет зазора;  $\alpha_3$  - отклонение от перпендикулярности оси IV отверстия втулки от торца V (ОКБ втулки и ВКБ прокладки);  $\alpha_4$  - отклонение от параллельности торцов V и VI прокладки (ВКБ и ОКБ прокладки);  $\alpha_5$  - отклонение от перпендикулярности торца VI корпуса (ВКБ1 корпуса) и оси расточки I корпуса (ВКБ2 корпуса).

УДК 621.891.67-762

Голуб В.М., Голуб М.В.

## ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОРЦОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ НАСОСОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

Одним из наиболее ответственных элементов системы трубопроводного транспорта является насос. От его работоспособности зависит непрерывная и своевременная поставка нефти потребителю. На магистральных нефтепроводах агрегаты имеют единичную подачу до 12,5 тыс. м<sup>3</sup>/ч, а современные нефтеперекачивающие станции представляют собой

Определяем номер степени точности

$$n = 2,18 \cdot \left[ \ln \frac{7,46 \cdot 500}{10} - \ln \left( \frac{1,6^{\ln 25}}{25} + \frac{1,6^{\ln 25}}{25} + \frac{1,6^{\ln 40}}{40} + \frac{1,6^{\ln 160}}{160} + \frac{1,6^{\ln 10}}{10} \right) \right] + 1 = 14,16$$

Принимаем 14 степень точности.

По ГОСТ 24643-81 назначаем допуски на составляющие звенья с учётом интервалов меньшей стороны углов:  $AT_1 = 250$  мкм;  $AT_2 = 250$  мкм;  $AT_3 = 300$  мкм;

$AT_4 = 600$  мкм;  $AT_5 = 160$  мкм.

Проверяем соотношение приведённых назначенных допусков и приведённого допуска замыкающего звена

$$\sum_{i=1}^k \frac{AT_i}{L_i} = \frac{250}{25} + \frac{250}{25} + \frac{300}{40} + \frac{600}{160} + \frac{160}{10} = 47,25 \leq \frac{AT_{\Delta}}{L_{\Delta}} = 50$$

Точность замыкающего звена обеспечивается.

При распределении допуска замыкающего звена на составляющие звенья методом равных допусков, средний допуск составляющего звена будет равен

$$AT_{cp} = \frac{AT_{\Delta}}{k} = \frac{500}{5} = 100 \text{ мкм}$$

Для разных звеньев этот допуск соответствует от 9 до 13 степени точности. Таким образом, требуется большая точность составляющих звеньев.

Предложенная методика проектных расчетов угловых размерных цепей позволяет значительно снизить трудоемкость определения рациональных допусков составляющих звеньев и может быть полезна конструкторам и технологам машиностроительных предприятий.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении: Справочник в 2т. М.: Издательство стандартов, 1989. - Т1 220с.
2. Точность и производственный контроль в машиностроении: Справочник / Под общ. ред. А.К. Кугая М: Машиностроение, 1983, 367с.

Голуб Владимир Михайлович, к.т.н., доцент каф. машиноведения Брестского государственного технического университета.

Голуб Михаил Владимирович, д.т.н., профессор, зав. каф. машиноведения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.