

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ И КОЛИЧЕСТВА НЕПОДВИЖНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ С УЧЕТОМ РАССЕЯНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ СБОРОЧНЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ МАШИН

О. А. Медведев¹, А. Ю. Апанович², Д. В. Мартынов³

¹ К. т. н., доцент кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей» УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

² Магистрант кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей» УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

³ Магистрант кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей» УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

Реферат

В статье описана методика рационального определения размеров и количества неподвижных компенсаторов, используемых для достижения точности сборки машин методом регулирования. Путем анализа сборочных размерных цепей машин разработаны схемы компенсации полей рассеяния составляющих звеньев. На основе схем компенсации и положений теории вероятностей составлены уравнения для расчета степени компенсации и уравнения для расчета количества компенсаторов разных ступеней.

Ключевые слова: неподвижные компенсаторы, точность, сборка машин методом регулирования, схема компенсации, уравнение.

DEFINITION OF THE SIZE AND NUMBER OF STATIONARY COMPENSATORS, TAKING INTO ACCOUNT THE SCATTERING OF COMPONENTS OF ASSEMBLY-SIZED CHAINS OF MACHINES

O. A. Medvedev, A. Y. Apanovich, D. V. Martynov

Abstract

The article describes the method of rational determination of the size and number of still compensators used to achieve the accuracy of machine assembly by regulatory method. By analysing the assembly-size chains of machines, schemes have been developed to compensate the scattering fields of the constituent links. On the basis of compensation schemes and the provisions of probability theory, equations have been drawn up to calculate the compensation step and equation to calculate the number of compensators of different stages.

Keywords: fixed compensators, accuracy, machine assembly by regulation, compensation scheme, equation.

Состояние вопроса и постановка задач исследования

В результате сборки машины должны быть обеспечены требуемые взаимные расположения конструкторских баз и исполнительных поверхностей ее деталей. При этом функциональные размеры, получаемые при сборке (например: тепловой зазор между торцом подшипника и крышки подшипникового узла, отклонение от соосности шпинделя и пиноли задней бабки токарного станка, отклонение от параллельности осей сопряженных зубчатых колес и т. п.) не должны выходить за пределы заданных допусков.

Такие функциональные размеры обычно являются замыкающими звеньями сборочных конструкторских размерных цепей, которые содержат составляющие звенья в виде размеров тех деталей, с помощью которых границы замыкающего звена ориентируются относительно друг друга [1, 2, 3]. Выявление таких цепей выполняется по сборочному чертежу изделия с учетом основных и вспомогательных конструкторских баз деталей, контакты которых определяют взаимные положения деталей при сборке.

В условиях серийного производства машин достижение точности замыкающих звеньев длинных сборочных конструкторских размерных цепей методами полной или неполной взаимозаменяемости часто экономически неприемлемо из-за необходимости высокой точности составляющих звеньев. В таких условиях попадание замыкающего звена в пределы его малого допуска обеспечивается целенаправленным регулированием значения одного из составляющих звеньев - компенсатора. В случае использования наиболее простого неподвижного компенсатора его размер регулируется ступенчато, путем выбора компенсатора из заранее изготовленного комплекта. Также можно использовать наборы с разным количеством равных тонких компенсаторов. Используя компенсатор определенного размера, можно за счет допуска замыкающего звена компенсировать часть суммарного поля рассеяния других составляющих звеньев, равную (в идеале) этому допуску. Используя второй компенсатор, который больше первого на величину допуска замыкающего звена, можно компенсировать еще такую же часть общего поля рассеяния

составляющих звеньев, примыкающую к первой, и так далее. В идеале степень компенсации (разность размеров соседних компенсаторов в комплекте) равна допуску замыкающего звена, а число компенсаторов в комплекте на одно изделие равно отношению суммарного поля рассеяния составляющих звеньев (величины компенсации) к допуску замыкающего звена. В действительности степень компенсации должна быть меньше из-за наличия погрешностей определения требуемого размера компенсатора и изготовления компенсаторов.

Размер компенсатора для конкретного экземпляра изделия обычно определяется измерением полости под компенсатор, сформированной при предварительной сборке части изделия, включающей детали, размеры которых являются составляющими звеньями рассматриваемой конструкторской сборочной размерной цепи. При этом на место замыкающего звена устанавливается его эталон, а компенсатор в изделие не устанавливается. Если размеры выбранного компенсатора и измеренной полости будут равны, то при окончательной сборке экземпляра изделия без эталона и с выбранным компенсатором замыкающее звено будет равно размеру эталона.

При использовании компенсатора устраняется прямая зависимость отклонения замыкающего звена от отклонений остальных составляющих звеньев сборочной конструкторской размерной цепи, но возникает его зависимость от погрешностей изготовления компенсатора и выполнения сборочных работ, при малости которых можно получать высокую точность замыкающего звена при невысокой точности остальных звеньев цепи.

На роль компенсатора выбирают деталь, отвечающую следующим требованиям:

- компенсатор регулируемым размером должен входить лишь в одну сборочную конструкторскую размерную цепь изделия;
- компенсатор должен располагаться в месте, доступном для измерения;
- компенсатор должен иметь простую форму и малые габариты;

- компенсатор должен изготавливаться из хорошо обрабатываемого материала.

В ходе решения сборочных конструкторских размерных цепей, в случае использования метода регулирования неподвижными компенсаторами разной длины, должны быть определены:

- величина компенсации (сумма полей рассеяния составляющих звеньев, подлежащей компенсации);
- рациональная схематичная взаимосвязь между границами величины компенсации, границами поля допуска замыкающего звена, размерами компенсаторов разных ступеней, погрешностями сборочных работ и компенсаторов (схема компенсации);
- размер эталона замыкающего звена;
- возможное поле рассеяния замыкающего звена с учетом погрешностей сборочных работ, и его сравнение с заданным допуском замыкающего звена (проверка условия достижения точности сборки);
- степень компенсации (разности размеров соседних компенсаторов в комплекте) и число компенсаторов в комплекте на одно изделие;
- размеры и предельные отклонения всех компенсаторов в комплекте на одно изделие;
- минимально достаточное количество компенсаторов каждой ступени для собираемой партии изделий.

Анализ описанных в технической и учебной литературе [1, 2, 3, 4 и др.] методик решения размерных цепей при достижении точности сборки методом регулирования позволил выявить их существенные недостатки:

- в величину компенсации, кроме допусков составляющих звеньев конструкторской размерной цепи включаются погрешности технологической оснастки, которые не формируют поле рассеивания местоположения компенсатора при предварительной сборке и не компенсируются выбором компенсатора, так как они влияют на этот выбор и могут иметь разные значения при сборке одного изделия. Такой подход ведет к неоправданному завышению величины компенсации и числа компенсаторов;
- допуск компенсатора назначается без учета других погрешностей формирования его размера, и, следовательно, не гарантируется точность сборки при рассчитанных параметрах компенсаторов;
- не выявляются рациональные схемы компенсации суммарного поля рассеяния составляющих звеньев с целью установления рациональной взаимосвязи размеров компенсаторов в комплекте и границ величины компенсации;
- при определении величины компенсации, размеров компенсаторов и их погрешностей не учитывается случайный характер этих величин;
- не рассматриваются вопросы рационального определения минимально достаточного количества компенсаторов каждой ступени для собираемой партии изделий.

Выявленные недостатки свидетельствуют о недостаточной надежности указанных методик и необходимости их корректировки путем учета случайного характера звеньев размерных цепей и погрешностей сборочных работ.

Схемы компенсации полей рассеяния составляющих звеньев

Установить взаимосвязь между предельными значениями замыкающего звена, составляющих звеньев, компенсатора, погрешностями сборочных работ можно на основе наглядной, компактной и рациональной схемы компенсации допусков составляющих звеньев, которую возможно построить на основе сборочной конструкторской размерной цепи, выявленной по сборочному чертежу. Для сокращения числа элементов схемы компенсации (с целью повышения ее наглядности) в ней все составляющие звенья (кроме компенсатора) целесообразно заменить суммарным составляющим звеном, оказывающим равноценное влияние на замыкающее звено.

Суммарное составляющее звено A_{Σ} является алгебраической суммой всех увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев реальной цепи (кроме компенсатора). Его номинальное или среднее значение можно определить по соответствующим значениям составляющих звеньев по формуле

$$A_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n \bar{A}_j - \sum_{j=1}^m \bar{A}_j, \quad (1)$$

где A_j – номинальный (или средний) размер j -го уменьшающего или увеличивающего звена конструкторской цепи; n и m – число увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев, соответственно (кроме компенсатора).

Если при расчете по формуле (1) получится положительное значение суммарного составляющего звена A_{Σ} , то оно является увеличивающим звеном, а если получится отрицательное значение, то оно является уменьшающим звеном.

Рассматривая суммарное составляющее звено как случайную величину, являющуюся суммой большого числа слагаемых случайных величин, можно считать, что его значения подчиняются нормальному закону распределения в пределах поля рассеяния $TA_{\Sigma} = 6\sigma_{\Sigma}$ [1, 3]. Поле рассеяния TA_{Σ} (величина компенсации) можно определить по правилу сложения случайных величин [1, 3] как сумму полей рассеяния составляющих звеньев (кроме компенсатора).

$$TA_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{j=1}^{j=m+n} TA_j^2}. \quad (2)$$

Такое сложение полей рассеяния составляющих звеньев позволяет существенно сократить величину компенсации по сравнению с арифметическим сложением допусков этих звеньев, а впоследствии и сократить требуемое число ступеней компенсации.

Замена составляющих звеньев на суммарное составляющее звено позволяет преобразовать любую реальную сборочную конструкторскую размерную цепь на математически равноценную трехзвенную цепь, состоящую из суммарного составляющего звена A_{Σ} , компенсатора K и замыкающего звена A_{Δ} .

Тщательный анализ влияния компенсаторов на замыкающие звенья линейных сборочных конструкторских размерных цепей для машин разного назначения позволяет свести все многообразие реальных сборочных конструкторских цепей к трем вариантам математически равноценных трехзвенных цепей, характеризующихся следующим сочетанием составляющих звеньев:

- 1) увеличивающее суммарное составляющее звено и увеличивающий компенсатор (\bar{A}_{Σ} и \bar{K});
- 2) увеличивающее суммарное составляющее звено и уменьшающий компенсатор (\bar{A}_{Σ} и \bar{K});
- 3) уменьшающее суммарное составляющее звено и увеличивающий компенсатор (\bar{A}_{Σ} и \bar{K}).

Сочетание уменьшающего суммарного составляющего звена и уменьшающего компенсатора (\bar{A}_{Σ} и \bar{K}) в трехзвенных размерных цепях невозможно.

На основе указанных трех вариантов трехзвенных цепей можно разработать три типовые схемы компенсации поля рассеяния суммарного составляющего звена для всех возможных случаев, встречающихся на практике.

Рассмотрим построение такой схемы компенсации для второго варианта трехзвенной цепи, так как такое сочетание довольно часто встречается в конструкциях машин. Для этого каждое звено такой трехзвенной цепи представим двумя его предельными размерами и полем рассеяния (рисунок 1).

Для увязки полей рассеяния погрешностей сборочных работ, размеров технологической сборочной оснастки, размеров компенсаторов с полем допуска замыкающего звена TA_{Δ} в схему компенсации впишем элементы технологической размерной цепи, формирующейся при предварительной сборке изделия. Как отмечалось ранее, поле рассеяния замыкающего звена конструкторской сборочной цепи для изделий после окончательной сборки будет равно полю рассеяния размеров выбираемых компенсаторов. Для определения поля рассеяния выбираемых компенсаторов следует выявить и решить технологическую сборочную размерную цепь, которая формируется на этапе предварительной сборки изделия. Замыкающим

звенном в ней является размер выбранного компенсатора, а составляющими звеньями, кроме размеров деталей изделия, также являются размеры используемой сборочной оснастки (эталона замыкающего звена конструкторской цепи) и погрешности выполнения сборочных работ. Таким образом, отклонение замыкающего звена от его эталонного значения равно отклонению размера выбранного компенсатора от размера полости под компенсатор, сформированной без погрешностей. Пример технологической сборочной размерной цепи представлен на рисунке 1.

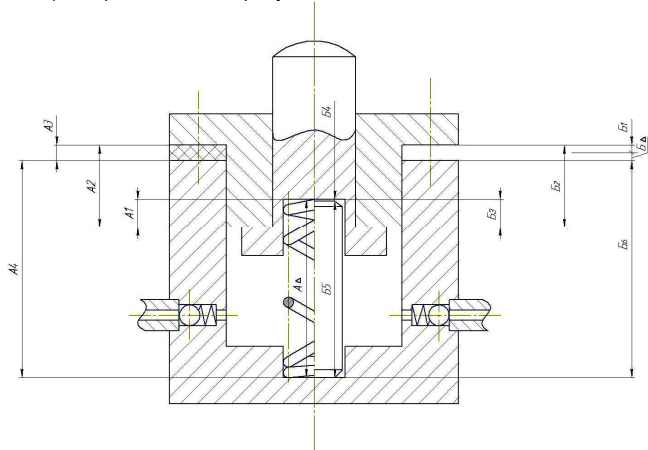


Рисунок 1 – Схемы сборочных размерных цепей плунжерного насоса: конструкторской для замыкающего звена A_{Δ} (высота полости под пружину); технологической для замыкающего звена B_{Δ} (размер выбранного компенсатора - прокладки)

Погрешность размера компенсатора будет складываться из погрешностей тех звеньев технологической цепи, которые при предварительной сборке конкретного изделия могут приобретать случайные значения, отличающиеся от их значений в конструкторской цепи, и отклонений звеньев, отсутствующих в конструкторской цепи. К ним относятся: погрешность изготовления эталона замыкающего звена ϵ_{Σ} , погрешность установки эталона $\epsilon_{у\epsilon}$, погрешность измерения полости под компенсатор $\epsilon_{и}$, погрешность изготовления компенсатора $\epsilon_{и\kappa}$ (равна допуску размера изготовленного компенсатора $T\kappa$), погрешность выбора компенсатора ϵ_{ϵ} . На рисунке 1 технологический размер B_{Δ} представляет сумму погрешностей $\epsilon_{и}$, $\epsilon_{и\kappa}$, ϵ_{ϵ} . Указанные погрешности могут быть компенсированы только за счет допуска замыкающего звена конструкторской цепи, а не выбором компенсатора. Поэтому их сумма не должна превышать допуск замыкающего звена конструкторской цепи $T A_{\Delta}$. На схеме компенсации эти погрешности, представляющие технологическую цепь, вписываем в пределы $T A_{\Delta}$. Принимая допущение о симметричном распределении суммы этих погрешностей, совмещаем середину поля рассеяния суммарной погрешности с серединой поля допуска замыкающего звена конструкторской цепи. Половины слагаемых погрешностей изобразим на схеме компенсации отрезками справа и слева от этой середины. Для облегчения восприятия схемы компенсации сумма ϵ_{Σ} , $\epsilon_{у\epsilon}$, $\epsilon_{и}$ представлена на ней как погрешность формирования размера компенсатора $\epsilon_{р\kappa}$.

Так как указанные ранее погрешности являются случайными величинами, зависящими от большого числа случайных факторов, и поэтому подчиняются нормальному закону распределения, для их сложения также можно использовать правила сложения случайных величин. С учетом изложенного условия достижения точности замыкающего звена A_{Δ} , отражающее требуемое соотношение его допуска и погрешностей сборочных работ и оснастки, можно записать следующим образом:

$$T A_{\Delta} \geq \sqrt{\epsilon_{\Sigma}^2 + \epsilon_{у\epsilon}^2 + \epsilon_{и}^2 + \epsilon_{и\kappa}^2 + \epsilon_{\epsilon}^2}. \quad (3)$$

Выражения (3) следует использовать для оценки приемлемости выбора точности сборочных работ и сборочной оснастки, точности

изготовления и выбора компенсаторов для достижения точности замыкающего звена A_{Δ} .

Особое внимание следует уделить погрешности выбора компенсатора ϵ_{ϵ} с размером, ближайшим к измеренному размеру полости под компенсатор. При внимательном выборе компенсатора невозможно ошибочно выбрать компенсатор, отличающийся от полости больше чем на одну ступень компенсации. Поэтому максимальное значение погрешности выбора компенсатора равно ступени компенсации ($\epsilon_{\epsilon max} = c$), то есть разности между средними размерами соседних компенсаторов в комплекте. Для получения минимально достаточного числа компенсаторов в комплекте следует принять максимально допустимую ступень компенсации, при которой условие достижения точности сборки (3) превращается в равенство. Тогда

$$c = \sqrt{T A_{\Delta}^2 - \epsilon_{\Sigma}^2 - \epsilon_{у\epsilon}^2 - \epsilon_{и}^2 - \epsilon_{и\kappa}^2}. \quad (4)$$

Определение ступени компенсации с учетом правила сложения случайных величин также позволяет увеличить ее величину по сравнению с использованием арифметического сложения и, следовательно, сократить число ступеней компенсации.

С учетом ранее рассмотренного принципа использования неподвижных компенсаторов разной длины число ступеней компенсации можно определить, поделив величину компенсации на ступень компенсации

$$N = T A_{\Sigma} / c = T A_{\Sigma} / \sqrt{(T A_{\Delta}^2 - \epsilon_{\Sigma}^2 - \epsilon_{у\epsilon}^2 - \epsilon_{и}^2 - \epsilon_{и\kappa}^2)}. \quad (5)$$

Значение допусков составляющих звеньев конструкторской цепи и погрешностей сборочных работ и оснастки следует выбирать так, чтобы значение N получалось целым.

На схеме компенсации разделим величину компенсации $T A_{\Sigma}$ на части равные ступени компенсации. Так как желаемым значением замыкающего звена A_{Δ} является его среднее значение, то между серединами ступеней компенсации и серединой допуска $T A_{\Delta}$ изображим средние (в пределах их допусков) размеры компенсаторов разных ступеней.

Для отражения случайного характера составляющих звеньев сборочной конструкторской размерной цепи на схеме компенсации (рисунок 2) представлена кривая нормального распределения значений A_{Σ} .

Схема компенсации, построенная по указанным правилам для случая с увеличивающим суммарным составляющим звеном и комплектом уменьшающих компенсаторов разной длины, приведена на рисунке 2.

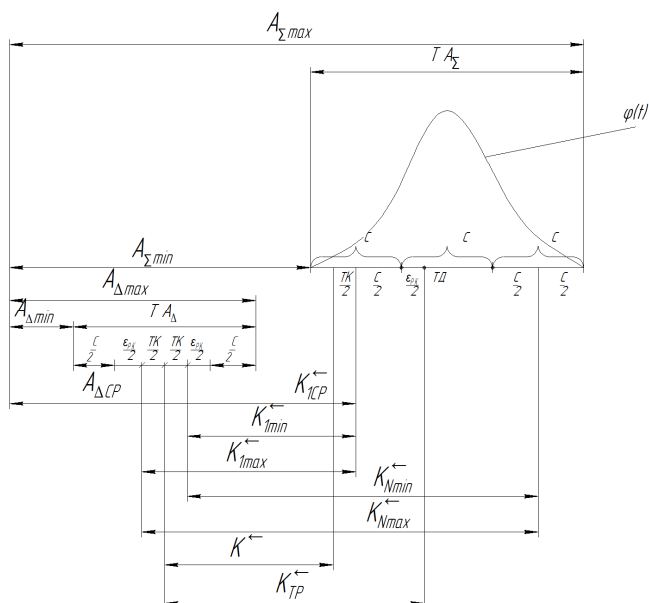


Рисунок 2 – Схема компенсации поля рассеяния суммарного увеличивающего составляющего звена регулированием комплекта неподвижных уменьшающих компенсаторов разной длины

С учетом аналогичных принципов построены схемы компенсации для увеличивающих компенсаторов и увеличивающего суммарного составляющего звена (рисунок 3) и для увеличивающих компенсаторов и уменьшающего суммарного составляющего звена (рисунок 4).

Определение размеров компенсаторов разных ступеней

В соответствии со схемой компенсации, принятой для случая использования комплекта уменьшающих компенсаторов разной длины (рисунок 2), средний размер компенсатора первой ступени следует определять по формуле

$$\bar{K}_{1cp} = A_{\Sigma cp} - A_{\Delta cp} - 3\sigma_{\Sigma} + c/2, \tag{6}$$

где $A_{\Sigma cp}$ – среднее значение суммарного составляющего звена; σ_{Σ} – среднеквадратическое отклонение суммарного составляющего звена; $A_{\Delta cp}$ – среднее значение замыкающего звена конструкторской цепи.

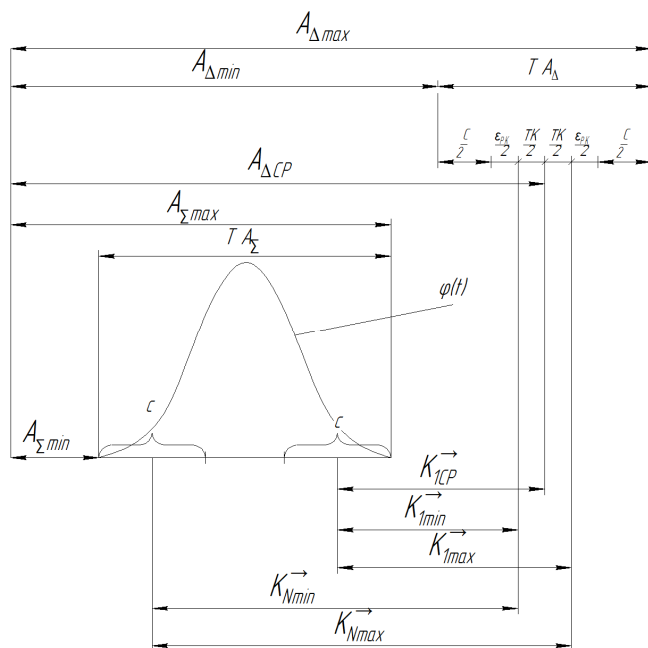


Рисунок 3 – Схема компенсации поля рассеяния суммарного увеличивающего составляющего звена регулированием комплекта неподвижных увеличивающих компенсаторов разной длины

Средний размер увеличивающего компенсатора первой ступени при увеличивающем суммарном составляющем звене в соответствии со схемой на рисунке 3 следует определять по формуле

$$\bar{K}_{1cp} = A_{\Delta cp} - A_{\Sigma cp} - 3\sigma_{\Sigma} + c/2. \tag{7}$$

Средний размер увеличивающего компенсатора первой ступени при уменьшающем суммарном составляющем звене в соответствии со схемой на рисунке 4 следует определять по формуле

$$\bar{K}_{1cp} = A_{\Delta cp} + A_{\Sigma cp} - 3\sigma_{\Sigma} + c/2. \tag{8}$$

Средний размер компенсатора i -ой ступени для всех вариантов схем компенсации

$$K_{icp} = K_{1cp} + (i - 1) \cdot c. \tag{9}$$

Определение числа компенсаторов, требуемых для партии собираемых изделий

Определяя общее число компенсаторов, предварительно изготавливаемых для партии собираемых изделий из P штук, при известном числе ступеней компенсации N , на производстве обычно исходят из того, что заранее неизвестно, компенсатор какой ступени потребуется для конкретного экземпляра изделия. Поэтому изготавливается комплект из N компенсаторов для каждого экземпляра изделия и общее число компенсаторов для всей партии $Q = N \cdot P$. Однако из каждого комплекта будет использован лишь один компенсатор, и $(N-1) \cdot P$ компенсаторов окажутся лишними. При этом нет гарантии, что все они потребуются в дальнейшем.

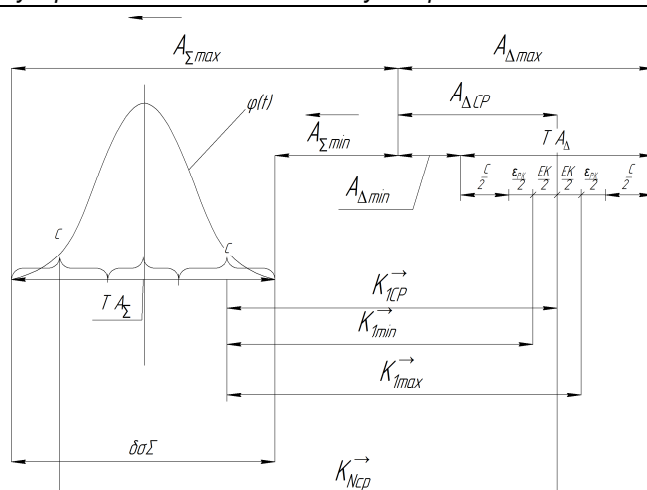


Рисунок 4 – Схема компенсации поля рассеяния суммарного уменьшающего составляющего звена регулированием комплекта неподвижных увеличивающих компенсаторов разной длины

Снизить расходы на изготовление компенсаторов можно, если учесть, что суммарное составляющее звено в пределах партии собираемых изделий подчиняется нормальному закону распределения, при котором значения, близкие к середине поля рассеяния, составляют подавляющее большинство, и, следовательно, компенсаторы крайних ступеней потребуются гораздо реже, чем компенсаторы средних ступеней.

Доля изделий, для которых потребуется компенсатор определенной ступени, может быть определена на основе положений теории вероятностей при известных параметрах распределения A_{Σ} .

Среднеквадратическое отклонение суммарного составляющего звена можно определить по формуле

$$\sigma_{\Sigma} = TA_{\Sigma} / 6. \tag{10}$$

Для определения доли экземпляров изделий, у которых A_{Σ} попадает в пределы каждой ступени компенсации, можно воспользоваться функцией Лапласа, которая показывает вероятность попадания нормально распределенной случайной величины в интервал, выраженный числом среднеквадратических отклонений и отсчитываемый от середины поля рассеяния случайной величины [3, 4]. Применительно к схемам компенсации, представленных на рисунках 2, 3, 4, функцию Лапласа можно использовать для определения вероятности попадания значений A_{Σ} в интервал между серединой TA_{Σ} и границей определенной ступени компенсации. Аргументом функции Лапласа $\Phi(t)$ является коэффициент риска t , который в нашем случае можно определить делением указанного интервала на среднеквадратическое отклонение σ_{Σ} .

Для первой и последней (N -ой) ступеней компенсации коэффициент риска следует определять по формуле

$$t_1 = t_N = \frac{TA_{\Sigma} / 2 - c}{\sigma_{\Sigma}} = \frac{3\sigma_{\Sigma} - 6\sigma_{\Sigma} / N}{\sigma_{\Sigma}} = 3 - \frac{6}{N}. \tag{11}$$

Значение функции Лапласа $\Phi(t)$ для полученного аргумента t можно определить по специальной таблице [1, 2, 3]. Учитывая, что вероятность попадания значений A_{Σ} в половину поля его рассеяния равна 0,5 выражение для определения доли изделий с A_{Σ} в пределах первой и N -ой ступени компенсации q_1 и q_N получим, вычитая из 0,5 значение $\Phi(t_1)$

$$q_1 = q_N = 0,5 - \Phi(t_1) = 0,5 - \Phi\left(3 - \frac{6}{\sigma_{\Sigma}}\right). \tag{12}$$

Для второй и $N-1$ -ой ступеней компенсации коэффициент риска следует определять по формуле

$$t_2 = t_{N-1} = \frac{TA_{\Sigma}/2 - 2c}{\sigma_{\Sigma}} = \frac{3\sigma_{\Sigma} - 12\sigma_{\Sigma}/N}{\sigma_{\Sigma}} = 3 - \frac{12}{N}. \quad (13)$$

Доли изделий с A_{Σ} в пределах второй и $N-1$ -ой ступени компенсации q_2, q_{N-1} получим вычитая из $\Phi(t_1)$ значение $\Phi(t_2)$

$$q_2 = q_{N-1} = \Phi(t_1) - \Phi(t_2) = \Phi\left(3 - \frac{6}{N}\right) - \Phi\left(3 - \frac{12}{N}\right). \quad (14)$$

В общем случае доли изделий с A_{Σ} в пределах i -ой и $N-(i-1)$ -ой ступени компенсации

$$q_i = q_{N-i+1} = \Phi(t_{i-1}) - \Phi(t_i) = \Phi\left(3 - \frac{6 \cdot (i-1)}{N}\right) - \Phi\left(3 - \frac{6 \cdot i}{N}\right). \quad (15)$$

При четном числе ступеней компенсации расчеты долей изделий по формуле (15) следует выполнить для ступеней с номерами $i \leq N/2$, пока $\Phi(t_i) \geq 0$.

При нечетном числе ступеней N расчеты долей изделий по формуле (15) следует выполнить для ступеней с номерами $1 \leq i \leq N/2 - 0,5$. Доля изделий с A_{Σ} в пределах средней ступени компенсации с номером $i = N/2 + 0,5$ по формуле

$$q_{N/2+0,5} = \Phi\left(\frac{3}{N}\right). \quad (16)$$

Число собираемых изделий, имеющих значение A_{Σ} в пределах отдельной ступени компенсации, можно определить как произведение соответствующей доли изделий на общее число изделий собираемой партии P

$$Q = q_i \cdot P \text{ и } Q_{N-i+1} = q_i \cdot P. \quad (17)$$

Минимально достаточное количество заранее изготавливаемых компенсаторов отдельной ступени должно быть равно числу изделий с A_{Σ} , попадающим в пределы этой ступени компенсации (по одному компенсатору на изделие).

Так как сумма долей компенсаторов всех ступеней равна $0,9973 \approx 1$, то общее число компенсаторов всех ступеней будет равно числу собираемых изделий в партии $Q = P$.

Предлагаемая методика расчета позволит сократить число требуемых компенсаторов в N раз (N – число ступеней компенсации), по сравнению с расчетом числа компенсаторов без учета распределения значений суммарного составляющего звена. Так как поле рассеяния $TA_{\Sigma} = 6\sigma_{\Sigma}$ охватывает 99,73% собираемых изделий, то при таком расчете не удастся выбрать заранее изготовленный компенсатор лишь для 0,27% изделий. В таком маловероятном случае компенсатор можно доработать (пригнать) индивидуально.

Заключение

В результате тщательного анализа влияния составляющих звеньев на замыкающие звенья сборочных конструкторских размерных цепей и влияния погрешностей выполнения сборочных работ на точность сборки машин были разработаны рациональные схемы компенсации суммарного поля рассеяния составляющих звеньев при использовании неподвижных компенсаторов разной длины. На основе полученных схем компенсации и положений теории вероятностей составлено условие достижения точности сборки методом регулирования размеров компенсаторов разной длины, уравнение для расчета рациональной ступени компенсации, уравнения для расчета рациональных размеров компенсаторов разных ступеней, уравнения для расчета долей собираемых изделий, для которых потребуются компенсаторы разных ступеней. Применение полученных уравнений на практике позволит сократить количество первоначально изготовленных компенсаторов в 3...6 раз (среднестатистическое число ступеней компенсации). Данная методика может быть полезна инженерам-технологам, занимающимся проектированием техпроцессов сборки машин.

Список цитированных источников

1. Маталин, А. А. Технология машиностроения : учебник – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020 – 512 с. :ил.
2. Соломахо, В. Л. Нормирование точности и технические измерения : учебник / В. Л. Соломахо, Б. В. Цитович, С. С. Соколовский. – Минск : Высшая школа, 2015. – 367 с.:ил.
3. Солонин, И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И. С. Солонин, С. И. Солонин – М. : Машиностроение, 1980 – 110 с.:ил.
4. Технология машиностроения (специальная часть): учебник для машиностроительных специальностей вузов / А. А. Гусев, Е. Р. Ковальчук, И. М. Колесов [и др.] – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с.

References

1. Matalin, A. A. Tekhnologiya mashinostroeniya : uchebnik – 5-e izd., ster. – Sankt-Peterburg : Lan', 2020 – 512 s. :il.
2. Solomaho, V. L. Normirovanie tochnosti i tekhnicheskie izmereniya : uchebnik / V. L. Solomaho, B. V. Citovich, S. S. Sokolovskij. – Minsk : Vyshejschaya shkola, 2015. – 367 s.:il.
3. Solonin, I. S. Raschet sborochnyh i tekhnologicheskikh razmemyh cepej / I. S. Solonin, S. I. Solonin – M. : Mashinostroenie, 1980 – 110 s.:il.
4. Tekhnologiya mashinostroeniya (special'naya chast'): uchebnik dlya mashinostroitel'nyh special'nostej vuzov / A. A. Gusev, E. R. Koval'chuk, I. M. Kolesov [i dr.] – M. : Mashinostroenie, 1986. – 480 s.

Материал поступил в редакцию 12.10.2020