

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ ENGINEERING TECHNOLOGY

Научная статья

УДК 621.91.002

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-2-4-11

РАСЧЕТ НЕПОДВИЖНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ РАЗНОЙ ДЛИНЫ С УЧЕТОМ ТОЧНОСТИ СБОРОЧНЫХ РАБОТ

Медведев Олег Анатольевич,
Григорьев Владимир Федорович

Брестский государственный технический университет

*для корреспонденции: olanmed56@gmail.com



Информация о статье

Поступила:

1 марта 2022 г.

Одобрена после
рецензирования:

30 марта 2022 г.

Принята к публикации:

29 апреля 2022 г.

Ключевые слова:

размерная цепь, метод
регулирования, компенсатор,
погрешности сборки, схема
компенсации, ступень
компенсации, вероятность
компенсаторов

Аннотация.

Известные методики расчета размерных цепей при достижении точности сборки методом регулирования имеют существенные недостатки, которые являются следствием недостаточно тщательного анализа размерных связей элементов технологии сборки. В статье проведен анализ влияния погрешностей выполнения сборочных работ на точность сборки машин и описана разработка рациональных схем компенсации суммарного поля рассеяния составляющих звеньев конструкторской размерной цепи при использовании неподвижных компенсаторов разной длины. На основе полученных схем компенсации и положений теории вероятностей составлено условие достижения точности замыкающего звена сборочной конструкторской размерной цепи, математические выражения для расчета рациональных значений величины ступени компенсации, размеров компенсаторов разных ступеней, числа компенсаторов разных ступеней для партии собираемых изделий. Данная методика может быть полезна инженерам-технологам, занимающимся проектированием технологических процессов сборки машин.

Для цитирования: Медведев О.А., Григорьев В.Ф. Расчет неподвижных компенсаторов разной длины с учетом точности сборочных работ // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 2 (150). С. 4-11. doi: 10.26730/1999-4125-2022-2-4-11

Выдерживание замыкающих звеньев длинных сборочных конструкторских размерных цепей машин в пределах их допусков в условиях серийного производства часто обеспечивается целенаправленным, индивидуальным для каждого изделия ступенчатым изменением одного из составляющих звеньев, исполняющего роль неподвижного компенсатора [1, 2, 3]. Анализ описанных в технической и учебной литературе методик решения размерных цепей при достижении точности сборки методом регулирования позволил выявить их существенные недостатки, являющиеся следствием недостаточно тщательного анализа размерных связей элементов технологии сборки:

- в величину компенсации кроме допусков составляющих звеньев конструкторской размерной цепи необоснованно включается допуск компенсатора [4,5] (что нелогично, так как

компенсатор не может компенсировать свои погрешности), погрешности сборочной оснастки [6] (могут принимать случайные значения при сборке одного экземпляра изделия и не могут компенсироваться целенаправленным выбором компенсатора). Это ведет к неоправданному завышению величины компенсации и числа компенсаторов;

- допуск компенсатора назначается произвольно, без учета других погрешностей, влияющих на точность сборки [4, 5, 7];

- при определении величины компенсации, размеров компенсаторов и их погрешностей не учитывается случайный характер этих величин [1, 2, 3, 4 и др.];

- условия достижения точности замыкающего звена сборочной размерной цепи не учитывают погрешности формирования и выбора размера компенсатора [1, 2, 3];

- при определении ступени компенсации не учитываются погрешности, влияющие на выбор размера компенсатора [8, 9, 10];

- не выявляются рациональные схемы компенсации для увязки размеров компенсаторов с границами величины компенсации допуска замыкающего звена [1, 2, 3];

- не определяется минимально достаточное количество компенсаторов каждой ступени для собираемой партии изделий.

Предлагаемая в данной работе методика в значительной степени исключает указанные недостатки.

Основой методики являются схемы компенсации полей рассеяния составляющих звеньев, разработанные на основе тщательного анализа размерных связей элементов техпроцесса сборки. Они наглядно представляют взаимосвязи между предельными значениями замыкающего звена, составляющих звеньев, компенсатора, полями рассеяния погрешностей сборочных работ и сборочной оснастки.

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 (кроме компенсатора). При этом на место замыкающего звена устанавливается его материальный эталон. Если размеры выбранного компенсатора и измеренной полости будут равны, то после удаления материального эталона при окончательной сборке экземпляра изделия с выбранным компенсатором замыкающее звено будет равно размеру эталона. Таким образом, выбором компенсатора требуемого размера устраняется прямое влияние отклонений остальных составляющих звеньев сборочной конструкторской размерной цепи на отклонение замыкающего звена. Однако при этом возможное поле рассеяния замыкающего звена A_d для отдельного экземпляра собираемого изделия будет равно полю рассеяния размера компенсатора, выбираемого для этого экземпляра.

Для определения поля рассеяния выбираемого компенсатора следует выявить и решить технологическую сборочную размерную цепь, которая формируется на этапе предварительной сборки изделия. Замыкающим звеном в ней является размер выбранного компенсатора, а составляющими звеньями кроме размеров деталей изделия также являются размеры используемой сборочной оснастки (материального эталона замыкающего звена конструкторской цепи) и погрешности выполнения сборочных работ. Погрешность размера компенсатора будет складываться из погрешностей тех звеньев технологической цепи, которые при предварительной сборке конкретного изделия могут приобретать случайные значения и, следовательно, не могут быть компенсированы целенаправленным выбором размера компенсатора. К ним относятся: погрешность изготовления материального эталона замыкающего звена ε_z , погрешность установки эталона $\varepsilon_{yз}$, погрешность измерения полости под компенсатор $\varepsilon_{и}$, погрешность изготовления компенсатора $\varepsilon_{ик}$, погрешность выбора компенсатора $\varepsilon_в$. Эти погрешности могут быть компенсированы только за счет допуска замыкающего звена конструкторской цепи.

Схема компенсации может быть разработана на основе конструкторской сборочной размерной цепи, выявленной по сборочному чертежу изделия. Важнейшим элементом схемы компенсации должна быть величина компенсации. С учетом предыдущих обоснований величину компенсации следует определять как сумму полей рассеяния составляющих звеньев сборочной конструкторской размерной цепи (за исключением компенсатора).

Уменьшение количества элементов схемы компенсации без потери ее адекватности обеспечим заменой всех составляющих звеньев конструкторской цепи (кроме компенсатора) на

суммарное составляющее звено, оказывающее математически равноценное влияние на замыкающее звено. Это приводит к преобразованию реальной сборочной конструкторской размерной цепи в математически тождественную цепь, состоящую из трех звеньев: суммарного составляющего звена A_{Σ} ; компенсатора K ; замыкающего звена A_{Δ} . Номинал суммарного составляющего звена A_{Σ} определим как алгебраическую сумму номиналов всех увеличивающих (принимая со знаком плюс) и уменьшающих (принимая со знаком минус) составляющих звеньев реальной цепи (кроме компенсатора). Если сумма получится положительной, то A_{Σ} является увеличивающим звеном, а если отрицательной, то A_{Σ} является уменьшающим звеном.

Анализ возможных вариантов влияния компенсаторов на замыкающие звенья реальных линейных размерных цепей для машин разного назначения позволяет свести все их многообразие к трем типовым вариантам трехзвенных цепей: 1) цепь с увеличивающим A_{Σ} и увеличивающим K ; 2) цепь с увеличивающим A_{Σ} и уменьшающим K ; цепь с уменьшающим A_{Σ} и увеличивающим K . Сочетание уменьшающего A_{Σ} и уменьшающего K в трехзвенных размерных цепях невозможно. На основе указанных трех вариантов трехзвенных цепей можно разработать три типовые схемы компенсации отклонений суммарного составляющего звена для всех возможных случаев использования неподвижных компенсаторов разной длины.

Опишем разработку схемы компенсации для наиболее распространенного на практике варианта трехзвенной цепи с увеличивающим суммарным составляющим звеном и уменьшающим компенсатором. На схеме (см. рис.) каждое звено указанной цепи представим тремя отрезками, соответствующими двум его предельным размерам и полю рассеяния (или допуска).

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 $TA_{\Sigma} = b\sigma_{\Sigma}$ [1, 9]. Значение TA_{Σ} (величина компенсации) можно определить как корень квадратный из суммы квадратов полей рассеяния TA_j для m составляющих звеньев [1,10] (за исключением компенсатора). Это позволяет существенно сократить величину компенсации и число ступеней компенсации по сравнению с арифметическим сложением допусков составляющих звеньев.

Технологическую сборочную цепь в схеме компенсации представим погрешностями размера выбранного компенсатора, которые в сумме не должны превышать допуска замыкающего звена конструкторской цепи TA_{Δ} . Принимая допущение о симметричном распределении суммы этих погрешностей, совмещаем середину поля рассеяния суммарной погрешности с серединой TA_{Δ} . Половины слагаемых погрешностей изобразим на схеме компенсации отрезками справа и слева от середины TA_{Δ} . Для облегчения восприятия схемы компенсации сумма $\varepsilon_s, \varepsilon_{y_s}, \varepsilon_u$ представлена на ней как погрешность формирования размера компенсатора ε_{pk} . Так как указанные ранее погрешности являются случайными величинами, зависящими от большого числа случайных факторов, они подчиняются нормальному закону распределения, для их сложения также можно использовать правила сложения случайных величин. С учетом изложенного условие достижения точности сборки, отражающее требуемое соотношение допуска замыкающего звена и погрешностей сборочных работ и оснастки, выражается неравенством:

$$TA_{\Delta} \geq \sqrt{\varepsilon_s^2 + \varepsilon_{y_s}^2 + \varepsilon_u^2 + \varepsilon_k^2 + \varepsilon_c^2}. \quad (1)$$

Большое влияние на точность сборки оказывает погрешность выбора компенсатора ε_c , ближайшего по размеру к измеренной полости под компенсатор. При строгом соблюдении сборщиком технологической дисциплины невозможно ошибочно выбрать компенсатор, отличающийся от полости больше чем на разность размеров соседних компенсаторов в комплекте (на одну ступень компенсации). Поэтому максимальное значение погрешности выбора компенсатора можно принять равным ступени компенсации ($\varepsilon_{cmax} = c$). Это позволяет определять значение ступени компенсации во взаимосвязи с другими погрешностями, определяющими точность сборки. С целью минимизации числа компенсаторов в комплекте на одно изделие рационально иметь наибольшее возможное значение ступени компенсации, при котором выражение (1) преобразуется в равенство:

$$c = \sqrt{TA_{\Delta}^2 - \varepsilon_s^2 - \varepsilon_{y_s}^2 - \varepsilon_u^2 - \varepsilon_k^2}. \quad (2)$$

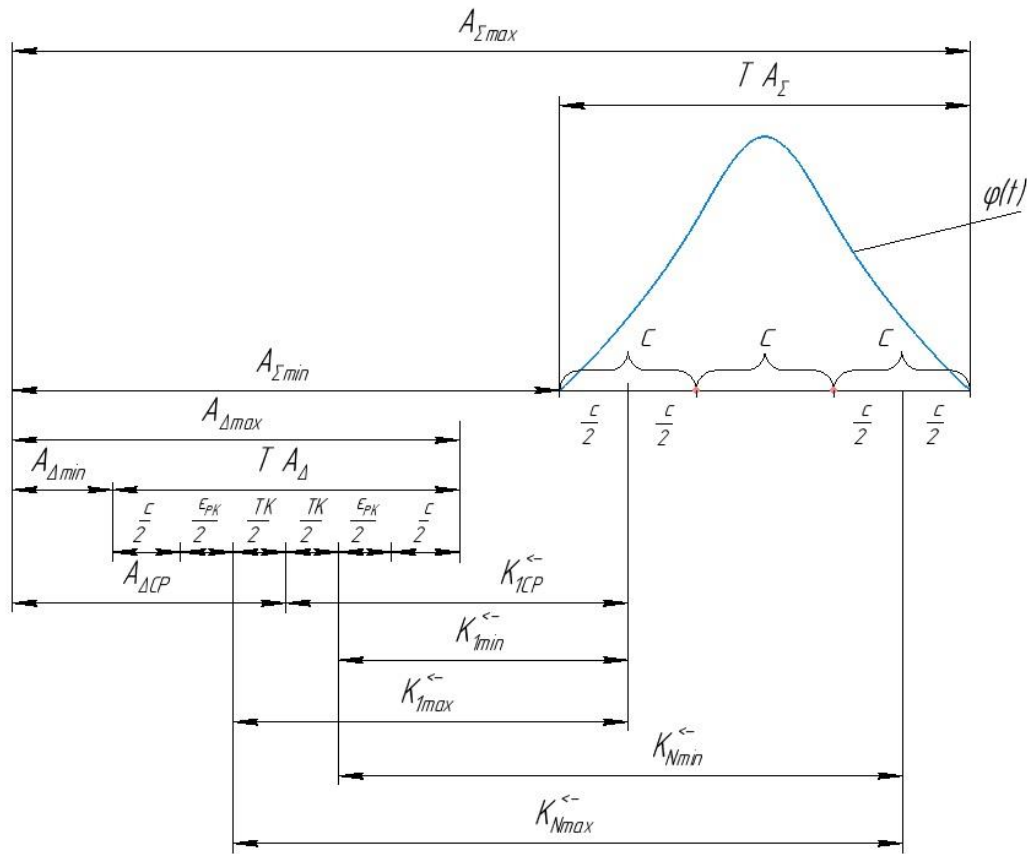


Рис. Схема компенсации поля рассеяния суммарного увеличивающего составляющего звена регулированием комплекта неподвижных уменьшающих компенсаторов разной длины
 Fig. The scheme of compensation of the scattering field of the total increasing component link by adjusting a set of fixed reducing compensators of different lengths

Таким образом, использование традиционных методик расчета [1, 2, 3 и др.], в которых принимается $c = TA_{\Delta}$, не гарантирует достижения точности сборки.

Число ступеней компенсации можно определить делением величины компенсации TA_{Σ} на ступень компенсации c :

$$N = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m TA_j^2}{TA_{\Delta}^2 - \varepsilon_3^2 - \varepsilon_{\gamma}^2 - \varepsilon_u^2 - \varepsilon_k^2}} \quad (3)$$

Значения TA_j должны быть такими, чтобы N получалось целым.

Величину компенсации TA_{Σ} на схеме компенсации разделим на N частей, равных ступени компенсации. Так как желаемым является среднее значение $A_{\Delta cp}$ (ему же равен размер материального эталона A_{Δ}), то между серединой каждой ступени компенсации и серединой TA_{Δ} изобразим средние размеры компенсаторов разных ступеней.

Для отражения случайного характера A_{Σ} на схеме компенсации над отрезком, разделенным на ступени компенсации схематично 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 рис.

С учетом аналогичных принципов разработаны схемы компенсации для цепей с увеличивающим компенсатором и увеличивающим суммарным составляющим звеном и для цепей с увеличивающим компенсатором и уменьшающим суммарным составляющим звеном.

На основе разработанных схем компенсации могут быть составлены выражения для расчета средних размеров компенсаторов разных ступеней.

Средний размер уменьшающего компенсатора первой ступени при увеличивающем A_{Σ}

$$\bar{K}_{1cp} = A_{\Sigma cp} - A_{\Delta cp} + \frac{\sqrt{TA_{\Delta}^2 - \varepsilon_3^2 - \varepsilon_{y3}^2 - \varepsilon_u^2 - \varepsilon_k^2} - \sqrt{\sum_{j=1}^m TA_j^2}}{2}, \quad (4)$$

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

При расчете среднего размера увеличивающего компенсатора первой ступени при увеличивающем A_{Σ} в формуле (4) $A_{\Sigma cp}$ принимается со знаком «-», а $A_{\Delta cp}$ – со знаком «+». При расчете среднего размера увеличивающего компенсатора первой ступени при уменьшающем A_{Σ} в формуле (4) $A_{\Sigma cp}$ и $A_{\Delta cp}$ принимаются со знаком «+».

Средний размер компенсатора i -ой ступени для всех схем компенсации

$$K_{icp} = K_{1cp} + (i - 1) \cdot c. \quad (5)$$

Обычно для партии из P изделий заранее изготавливается $q_{\Sigma} = N \cdot P$ число компенсаторов (на каждое изделие комплект из N компенсаторов), так как заранее неизвестно, компенсатор какой ступени потребуется для конкретного экземпляра изделия. Число компенсаторов в комплекте равно числу ступеней компенсации и находится по формуле (3). Однако из каждого комплекта будет использован лишь один компенсатор, а остальные окажутся лишними. Для снижения затрат на компенсаторы в работах [1, 12, 13] предлагается рассчитывать число компенсаторов с учетом нормального распределения отклонений, формирующих величину компенсации, но не приводится методика такого расчета. В данной работе предлагается число компенсаторов каждой ступени определять исходя из вероятностей попадания значений A_{Σ} в границы каждой ступени.

Для определения вероятности попадания значений A_{Σ} в интервал между серединой TA_{Σ} и границей определенной ступени компенсации можно воспользоваться таблицей функции Лапласа [1, 4]. Аргументом функции Лапласа $\Phi(t)$ является коэффициент риска t , который в данном случае можно определить делением указанного интервала на среднее квадратическое отклонение σ_{Σ} [14, 15]. С учетом изложенного для первой и последней (N -ой) ступеней компенсации коэффициент риска следует определять по формуле (6)

$$t_1 = t_N = \frac{TA_{\Sigma}/2 - c}{\sigma_{\Sigma}} = \frac{3\sigma_{\Sigma} - 6\sigma_{\Sigma}/N}{\sigma_{\Sigma}} = 3 - \frac{6}{N}. \quad (6)$$

Так как $\Phi(3) = 0,5$ (вероятность попадания значений A_{Σ} в половину поля его рассеяния), то вероятность попадания A_{Σ} в пределы первой или N -ой ступени компенсации f_1 и f_N определим, вычитая из 0,5 значение $\Phi(t_1)$:

$$f_1 = f_N = 0,5 - \Phi(t_1) = 0,5 - \Phi\left(3 - \frac{6}{N}\right). \quad (7)$$

Аналогично формуле (7) получаем выражение для вероятности изделий с A_{Σ} в пределах любой i -ой или $N-(i-1)$ -ой ступени компенсации

$$f_i = f_{N-i+1} = \Phi(t_{i-1}) - \Phi(t_i) = \Phi\left(3 - \frac{6(i-1)}{N}\right) - \Phi\left(3 - \frac{6i}{N}\right). \quad (8)$$

При четном числе ступеней компенсации N расчеты вероятностей изделий по формуле (8) следует выполнить для ступеней с номерами $i \leq N/2$, пока $\Phi(t_i) \geq 0$.

При нечетном числе ступеней N расчеты вероятностей изделий по формуле (8) следует выполнить для ступеней с номерами $1 \leq i \leq N/2 - 0,5$. Вероятность изделий с значениями A_{Σ} в пределах средней ступени компенсации с номером $i = N/2 + 0,5$ следует определять по формуле:

$$f_{N/2+0,5} = 2 \cdot \Phi\left(\frac{3}{N}\right). \quad (9)$$

Количество компенсаторов i -той ступени, требуемых для партии из P изделий

$$q_i = f_i \cdot P. \quad (10)$$

Так как $\sum f_i = 1$, при описанном расчете общее число требуемых компенсаторов всех ступеней равно числу собираемых изделий в партии $q_{\Sigma} = P$, то есть в N раз меньше, чем при расчете без учета случайного характера A_{Σ} .

Поскольку 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.

Апробирование предлагаемой методики на СТО «Брест» СООО «БелАвтоМазСервис» при регулировке полости под пружину форсунки ЯЗДА 273-20 закрытого типа с многодырчатый распылителем и гидравлически управляемой иглой позволило сократить число регулировочных шайб в 4 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маталин А. А. Технология машиностроения: учебник. 5-е изд., стер. СПб. : Лань, 2020. 512 с.: ил.
2. Проектирование технологических процессов сборки машин: Учебник / Под общ. ред. А. А. Жолобова. - Мн. : Новое знание, 2005. 410 с.
3. Якушев А. И., Воронцов Л. Н., Федотов Н. М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения.: Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и дополн. М. : Машиностроение, 1986. 352 с., ил.
4. Солонин И. С., Солонин С. И. Расчет сборочных и технологических размерных цепей. М. : Машиностроение, 1980. 110 с.: ил.
5. Палей М. А. и др. Допуски и посадки: Справочник в 2 ч. Ч.2. - СПб. : Политехника, 2001. 608 с.
6. Гусев А. А. [и др.] Технология машиностроения (специальная часть): Учебник для машиностроительных специальностей вузов. М. : Машиностроение, 1986. 480 с.
7. Справочник контролера машиностроительного завода / Под ред. А.И. Якушева. М. : Машиностроение, 1980. 527 с.
8. Ковшов А. Н. Технология машиностроения. Учебник. – СПб. : Лань, 2021. 320 с.
9. Беляков Н. В., Горохов В. А., Махаринский Е. И. Основы технологии машиностроения. Проектирование технологических процессов: учеб. пособие / Старый Оскол : Изд-во «Тонкие наукоемкие технологии», 2010. 767 с.
10. Филонов И. П., Беляев Г. Я., Кожуро Л. М. [и др.] Проектирование технологических процессов в машиностроении: Учебное пособие для вузов / Под общ. ред. И.П. Филонова. Мн. : УП «Технопринт», 2003. 910 с.
11. Балакшин В. С. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1969 – 358 с.
12. Бондаренко С. Г., Чередников О. Н., Губий В. П., Игнатцев Т. М. Размерный анализ конструкций: Справочник / Под общ. ред. канд. техн. наук С. Г. Бондаренко. К. : Техника, 1989.150 с.
13. Базров Б. М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. М. : Машиностроение, 2007. 737 с.
14. Медведев О. А., Демчук Д. О. Способ снижения трудоемкости пригонки при ремонте автомобильных агрегатов // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта. 2017. Вып. 2. С.29-36.
15. Демчук, Д. О., Медведев О. А. Рациональное определение размеров компенсаторов при достижении точности сборки узлов трансмиссий автотракторной техники методом пригонки // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы межд. науч. техн. конф. Тюмень : ТИУ, 2017. С. 103-107.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Медведев Олег Анатольевич, доцент, Брестский государственный технический университет (224017, Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267), olanmed56@gmail.com

Григорьев Владимир Федорович, доцент, Брестский государственный технический университет (224017, Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267), vfgrigorev77@yandex.by

Заявленный вклад авторов:

Медведев О.А. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; выводы; написание текста.

Григорьев В.Ф. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

CALCULATION OF FIXED COMPENSATORS OF DIFFERENT LENGTHS TAKING INTO ACCOUNT THE ACCURACY OF ASSEMBLY WORKS

**Oleg A. Medvedev,
Vladimir F. Grigorev**

Brest State Technical University

*for correspondence: olanmed56@gmail.com

**Article info**

Submitted:

1 March 2022

Approved after reviewing:

30 March 2022

Accepted for publication:

29 April 2022

Keywords: dimensional chain, control method, compensator, assembly errors, compensation scheme, compensation stage, probability of compensators

Abstract.

Known methods for calculating dimensional chains while achieving assembly accuracy by the control method have significant drawbacks, which are the result of an insufficiently thorough analysis of dimensional relationships of assembly technology elements. The article analyzes the influence of errors in assembly work on the accuracy of assembly of machines and describes the development of rational schemes for compensating the total stray field of the constituent links of the design dimensional chain when using fixed compensators of different lengths. On the basis of the obtained compensation schemes and the provisions of the probability theory, a condition was drawn up for achieving the accuracy of the closing link of the assembly design dimensional chain, mathematical expressions for calculating the rational values of the compensation stage, the sizes of the expansion joints of different stages, the number of expansion joints of different stages for a batch of assembled products. This technique can be useful for process engineers involved in the design of technological processes for assembling machines.

For citation: Medvedev O.A., Grigorev V.F. Calculation of fixed compensators of different lengths taking into account the accuracy of assembly works. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 2(150):4-11. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-2-4-11

REFERENCES

1. Matalin A.A. Mechanical engineering technology: textbook. St. Petersburg: Lan; 2020. (rus)
2. Zholobov A.A. Design of technological processes for assembling machines: Textbook Minsk: New knowledge; 2005. (rus)
- 3 Yakushev A.I., Vorontsov L.N., Fedotov N.M. Interchangeability, standardization and technical measurements.: A textbook for higher education institutions M.: Mashinostroenie; 1986. (rus)
4. Solonin I.S., Solonin S.I. Calculation of assembly and technological dimensional chains. M.: Mashinostroenie; 1980. (rus)
5. Paley M.A. and others. Tolerances and landings: a Handbook in 2 parts. Part 2. - St. Petersburg: Polytechnic; 2001. (rus)
6. Gusev A.A., Kovalchuk E.R., Kolesov I.M. and others. Technology of mechanical engineering (special part): Textbook for engineering specialties of universities M.: Mashinostroenie; 1986. (rus)
7. Directory of the controller of the machine-building plant. Ed. A.I. Yakusheva. M.: Mashinostroenie; 1980. (rus)
8. Kovshov A.N. Engineering technology. Textbook. St. Petersburg: Lan; 2021. (rus)
9. Belyakov N.V., Gorokhov V.A., Makharinsky E.I. et al. Fundamentals of engineering technology. Design of technological processes: textbook, manual - Stary Oskol: Publishing house "Thin science-intensive technologies"; 2010. (rus)
10. Filonov I.P., Belyaev G.Ya., Kozhuro L.M. and others; Design of technological processes in mechanical engineering: Textbook for universities. Under total ed. I.P. Filonova. Minsk: UE " Technoprint "; 2003. (rus)
11. Balakshin V.S. Fundamentals of mechanical engineering technology. M.: Mashinostroenie; 1969. (rus)
12. Bondarenko S.G., Cherednikov O.N., Gubiy V.P., Ignatsev T.M. Dimensional analysis of structures: Reference book. Under total ed. cand. tech. Sciences S.G. Bondarenko. K.: Technique; 1989. (rus)

13. Bazrov B.M. Fundamentals of mechanical engineering technology: Textbook for universities. М.: Mashinostroenie; 2007. (rus)
14. Demchuk D.O. A way to reduce the complexity of fitting during the repair of automotive units // *Problems of research of systems and means of road transport*. 2017; 2:29-36. (rus)
15. Demchuk D.O., Medvedev O.A. Rational determination of the size of compensators when achieving the accuracy of assembling transmission units of automotive and tractor equipment by the fitting method // *Transport and transport-technological systems: materials of int. scientific tech. conf.* 2017:103-107. (rus)

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Oleg A. Medvedev, Associate Professor, Brest State Technical University (267 st. Moscow, Brest, 224017, Belarus), olanmed56@gmail.com

Vladimir F. Grigorev, Associate Professor, Brest State Technical University (267 st. Moscow, Brest, 224017, Belarus), fgrigorev77@yandex.by

Contribution of the authors:

Oleg A. Medvedev – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions; writing the text.

Vladimir F. Grigorev – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions; writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

