

При замене элементов несущей конструкции была снижена ее масса:

$$\Delta m = m_1 - m_2 = 4530,9 - 3407,5 = 1123,4 \text{ кг,}$$

где

$$m_1 = 4 L m_{p1} = 4 (15,82 + 15,35) 44,28 = 4530,9 \text{ кг;}$$

$$m_2 = 4 L m_{p2} = 4 (15,82 + 15,35) 27,33 = 3407,5 \text{ кг;}$$

$$m_{p1} = 44,28 \text{ кг; } m_{p2} = 27,33 \text{ кг;}$$

$m_{p1}$ ,  $m_{p2}$  – масса погонного метра прямоугольной трубы и уголка соответственно.

### **Основные результаты и выводы**

1. При замене несущих элементов конструкции с трубы прямоугольного сечения на равнополочный уголок напряжения возникающие в опасных местах конструкции не превышают 103 МПа, при прежней конструкции возникающие напряжения не превышали 70 МПа. Что говорит о возможности такой замены. Однако в месте сочленения частей мачты возникают большие напряжения, локально достигающие 210 МПа, что является неприемлемым, требует конструкторских изменений и дальнейшей работы.

2. При внесении вышеизложенных изменений в конструкцию ее масса снижается минимум на 1123,4 кг, что способствует большей ее мобильности и экономии средств выпускающего их предприятия.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Справочник металлиста : в 5 т. / С. А. Чернавский [и др.]. – Москва, 1958. – Т. 2. – 46 с.
2. Каплун А. Б. ANSYS в руках инженера / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Ольферьев – Москва, 2003. – 29 с.
3. Кравчук, А. С. ANSYS для инженеров / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк – Москва : Машиностроение, 2004 – 416 с.

УДК621.91.002

## **АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ДОПУСТИМЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ СБОРОЧНЫХ РАБОТ И НЕПОДВИЖНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ РАЗНОЙ ДЛИНЫ С ЧИСЛОМ СТУПЕНЕЙ КОМПЕСАЦИИ ПРИ ДОСТИЖЕНИИ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МЕТОДОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

*Медведев О. А., Гетман И. А., Вишневский А. И., Сульжиц В. И.*

*Брестский государственный технический университет,*

*г. Брест, Республика Беларусь*

Метод регулирования широко используется для достижения высокой точности замыкающих звеньев длинных конструкторских сборочных размерных цепей машин в серийном производстве при экономически выгодных допусках составляющих звеньев. Он основан на быстром индивидуальном для каждого экземпляра собираемого узла изменении размера одного из составляющих звеньев – ком-

пенсатора. Изменение размера неподвижного компенсатора осуществляется ступенчато, выбором из заранее изготовленного комплекта компенсаторов. В идеальном случае ступень компенсации (разность размеров соседних компенсаторов в комплекте) равна допуску замыкающего звена, а число ступеней компенсации равно отношению величины компенсации к допуску замыкающего звена [1, 2].

Анализ способов расчета сборочных размерных цепей, используемых при достижении точности сборки методом регулирования [1, 2, 3, 4 и др.], позволил выявить их существенные недостатки: 1) ступень компенсации определяется без учета погрешностей сборочных работ и оснастки; 2) условие достижения точности сборки не учитывают погрешности формирования размера компенсатора; 3) в величину компенсации, кроме допусков составляющих звеньев сборочной конструкторской размерной цепи, включается допуск компенсатора и погрешности сборочных работ и оснастки, несмотря на то, что компенсатор не может компенсировать свои погрешности и погрешности формирования его размера, влияющие на выбор его размера; 4) не учитывается случайный характер составляющих величины компенсации и погрешностей, определяющих точность сборки.

Методика определения ступени и числа ступеней компенсации, основанная на анализе сборочных технологических размерных цепей, позволяет исправить отмеченные недостатки и повысить объективность расчетов размеров и числа компенсаторов. Далее изложены основные положения предлагаемой методики.

Размер неподвижного компенсатора, требуемого для отдельного экземпляра собираемого узла, в большинстве случаев находится измерением места под компенсатор, полученного при предварительной сборке узла без компенсатора, когда на место замыкающего звена устанавливается его эталон. Если размер выбранного компенсатора равен размеру измеренного места, то после окончательной сборки узла с таким компенсатором замыкающее звено будет равно размеру эталона. В противном случае, отклонение компенсатора от размера указанного места приведет к такому же по величине отклонению замыкающего звена от эталона. Следовательно, вместо зависимости точности замыкающего звена от точности всех составляющих звеньев конструкторской размерной цепи возникает зависимость точности замыкающего звена только от точности компенсатора.

Для определения поля рассеяния компенсатора следует выявить и решить технологическую сборочную размерную цепь, которая формируется на этапе предварительной сборки узла и измерения размера требуемого компенсатора. Замыкающим звеном в ней является размер выбранного компенсатора, а составляющими звеньями, кроме размеров деталей узла, также являются размеры используемой сборочной оснастки (эталон замыкающего звена) и погрешности выполнения сборочных работ. В этих условиях поле рассеяния величины компенсатора в пределах партии собираемых узлов, подлежащее компенсации, следует определять как сумму полей рассеяния всех составляющих звеньев технологической размерной цепи. Целенаправленным, индивидуальным для отдельного экземпляра собираемого узла, изменением толщины компенсатора возможно компенсировать только отклонения той части составляющих звеньев, которые имеют стабильные значения для этого экземпляра, то есть отклонения звеньев, являющихся размерами деталей узла. Сумму полей рассеяния второй части составляющих звеньев технологической цепи, которые могут приобре-

тать случайные значения в конкретном экземпляре узла, возможно компенсировать только за счет допуска замыкающего звена конструкторской размерной цепи. К таким звеньям относятся: погрешность изготовления эталона замыкающего звена  $\delta_{\varepsilon}$ , погрешность установки эталона  $\delta_{y\varepsilon}$ , погрешность измерения места под компенсатор  $\delta_u$ , погрешность изготовления компенсатора  $\delta_{ик}$ , погрешность выбора компенсатора  $\delta_{\varepsilon}$  (отклонение номинального размера выбранного компенсатора от результата измерения места под компенсатор).

Проведенный анализ влияния элементов технологической сборочной размерной цепи на погрешность размера выбранного компенсатора, а следовательно, и на погрешность замыкающего звена сборочной конструкторской цепи, позволяет составить условие достижения точности сборки при методе регулирования неподвижными компенсаторами разной толщины и определить величину компенсации изменением толщины компенсатора.

Величину компенсации  $V$ , обеспечиваемую за счет целенаправленного изменения компенсатора, следует определять как сумму полей рассеяния  $\omega_j$  звеньев, являющихся размерами деталей узла, участвующих в предварительной сборке ( $m$  звеньев кроме компенсатора). Приняв допущение о нормальном законе распределения слагаемых полей рассеяния, в соответствии с правилами теоретико-вероятностного расчета размерных цепей [1], получим

$$V = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j^2}.$$

С учетом анализа технологической цепи условие достижения точности сборки должно отражать соотношение допуска замыкающего звена  $TA_{\Delta}$  конструкторской цепи и погрешностей, вызывающих отклонение размера места под компенсатор от размера выбранного компенсатора (в пределах использования компенсатора отдельной ступени). Применяв правило сложения полей рассеяния нормально распределенных случайных величин для указанных ранее погрешностей сборочных работ и оснастки получим условие достижения точности  $TA_{\Delta}$

$$TA_{\Delta} \geq \sqrt{\delta_{\varepsilon}^2 + \delta_{y\varepsilon}^2 + \delta_u^2 + \delta_{ик}^2 + \delta_{\varepsilon}^2}.$$

При соблюдении этого условия замыкающее звено будет попадать в пределы его допуска для 99,73 % экземпляров собираемых узлов [1].

Таким образом, при высокой точности сборочной оснастки, измерительных средств и компенсаторов можно обеспечить высокую точность сборки при невысокой точности составляющих звеньев конструкторской размерной цепи (кроме компенсатора).

Важным параметром полученного условия достижения точности является погрешность выбора компенсатора нужного размера из заранее изготовленного комплекта компенсаторов, в котором размеры соседних компенсаторов отличаются на величину ступени компенсации. Анализ условий выбора компенсатора позволяет сделать вывод, что, при соблюдении технологического регламента, эта погрешность не может превышать ступень компенсации. Поэтому ступень компенсации  $S$ , как максимальную величину погрешности выбора толщины компенсатора, при которой условие достижения точности сборки превращается в равенство, следует определять по формуле

$$S = \sqrt{TA_{\Delta}^2 - \delta_{\vartheta}^2 - \delta_{y\vartheta}^2 - \delta_u^2 - \delta_k^2}.$$

Число ступеней компенсации  $N$  определяется делением величины компенсации на ступень компенсации

$$N = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \omega_j^2}{TA_{\Delta}^2 - \delta_{\vartheta}^2 - \delta_{y\vartheta}^2 - \delta_u^2 - \delta_k^2}}.$$

Примененный при расчете числа ступеней компенсации способ сложения полей рассеяния позволяет существенно уменьшить число требуемых ступеней компенсации по сравнению со случаем арифметического сложения, при доле бракованных узлов 0,27 %.

Для определения размеров компенсаторов разных ступеней составлены схемы компенсации наглядно показывающие их взаимосвязи с границами замыкающего звена, границами величины компенсации, погрешностями сборочных работ и оснастки для трех типовых сочетаний, охватывающие все случаи реальных сборочных размерных цепей: увеличивающее суммарное составляющее звено (с полем рассеяния  $V$ ) и уменьшающий компенсатор; увеличивающее суммарное составляющее звено и увеличивающий компенсатор; уменьшающее суммарное составляющее звено и увеличивающий компенсатор.

Разработанная методика апробирована на примере достижения точности сборки червячного редуктора 0119023-12.200, изготавливаемого на БСЗ ЗАО «Атлант». На рисунке представлена схема сборочной конструкторской размерной цепи, решение которой необходимо для достижения допустимого смещения  $A_1$  торцов стакана и втулки, базирующих кольца подшипника. Прокладка с размером  $A_2$  использовалась в качестве компенсатора.

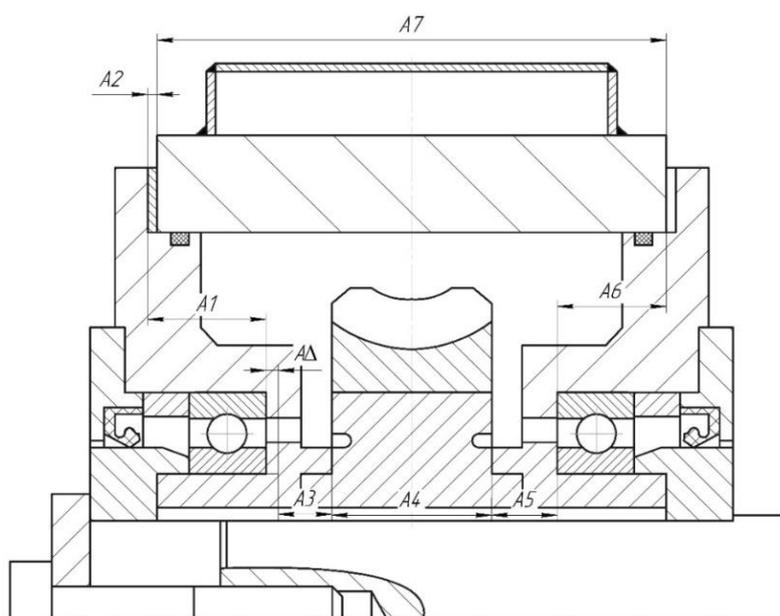


Рисунок – Схема сборочной размерной цепи червячного редуктора

Предлагаемая методика позволила повысить объективность расчетов величины компенсации, ступени и числа ступеней компенсации путем учета случайного характера погрешностей сборочных работ и оснастки. Она может быть полезна инженерам-технологам, занимающимся проектированием техпроцессов сборки машин.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Маталин, А. А. Технология машиностроения: учебник / А. А. Маталин. – 5-е изд., стер. – СПб: Лань, 2020. – 512 с.: ил.
2. Солонин, И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И. С. Солонин, С. И. Солонин – М. : Машиностроение, 1980 – 110 с.: ил.
3. Технология машиностроения (специальная часть): Учебник для машиностроительных специальностей вузов / А. А. Гусев [и др.] – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с.
4. Балакшин, В. С. Основы технологии машиностроения / В. С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1969. – 358 с.

УДК 621.83.061.1

### **АНАЛИЗ МЕТОДИК ВЫБОРА МОТОР-РЕДУКТОРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ**

*Монтик С. В.*

*Брестский государственный технический университет,  
г. Брест, Республика Беларусь*

Надежность и долговечность электромеханического привода во многом зависит от правильности выбора применяемого мотор-редуктора. Выполним анализ используемых для этого методик. Сложившаяся в странах СНГ практика выбора мотор-редукторов несколько отличается от зарубежной.

При использовании зарубежной методики выбор мотор-редуктора происходит с применением сервис-фактора ( $FS$ ), который учитывает режим эксплуатации мотор-редуктора.

Американская ассоциация производителей зубчатых колес (The American Gear Manufacturers Association) AGMA в стандарте ANSI/AGMA 2001-D04 [1] указывает, что сервис-фактор традиционно используется как множитель номинальной рабочей нагрузки для выбора из каталога разработанных редукторов и характеризует приложенные повышенные нагрузки, надежность, долговечность. Сервис-фактор задается для редуктора в зависимости от опыта эксплуатации в конкретной области применения. Сервис-фактор должен быть применен только для привода в сборе и в случае отсутствия более определенных данных о нагрузке.

ООО «НТЦ Приводная Техника» [2] для выбора модернизированных червячных (тип 7МЧ-М) и цилиндрико-червячные (тип 7МЦЧ-М) мотор-редукторов собственного производства, сборка которых производится как из импортных, так