

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

*к лабораторной работе*

**ДОСТИЖЕНИЕ ТОЧНОСТИ СБОРКИ  
МАШИН МЕТОДОМ ПРИГОНКИ**

по дисциплине «Технология машиностроения»

*для студентов специальности*

*1-36 01 01 «Технология машиностроения»*

УДК 621.91.002

Методические указания предназначены в помощь студентам при выполнении лабораторной работы и курсового проекта по дисциплине: «Основы технологии машиностроения».

Составитель: О. А. Медведев, доцент, к. т. н.

Рецензент: Г. В. Юдчиц, заместитель главного инженера ОАО «Брестмаш»

## **1. Цель работы**

Целью работы является приобретение практических навыков обеспечения точности замыкающих звеньев сборочных размерных цепей машин методом пригонки компенсаторов, освоение методики рационального расчета размеров компенсаторов и выбора сборочной технологической оснастки.

## **2. Оборудование и принадлежности**

Партия сборочных единиц в количестве 25 шт., стойка для установки сборочных единиц при измерении суммарного составляющего звена сборочной размерной цепи, магнитный штатив модели ШМ-ІІН, индикатор часового типа ИЧ-10.

## **3. Теоретические сведения**

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 крышкой 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. Основная конструкторская база детали – это ее поверхность, с помощью которой она ориентируется при сборке. Вспомогательная конструкторская база детали – это ее поверхность, с помощью которой на рассматриваемую деталь ориентируется другая деталь.

Анализ и расчет сборочных конструкторских размерных цепей позволяет выбрать рациональные методы достижения точности сборки и спроектировать соответствующие сборочные операции.

Наиболее просто и быстро требуемая точность замыкающих звеньев достигается методом полной (или неполной) взаимозаменяемости, когда замыкающее звено попадает в заданный допуск у всех (или большинства) собираемых экземпляров изделия только за счет сопряжения деталей по основным и вспомогательным конструкторским базам в соответствии со сборочным чертежом.

В случае длинных сборочных размерных цепей, когда метод полной (или неполной) взаимозаменяемости неприемлем из-за необходимости высокой точности составляющих звеньев, попадание замыкающего звена в пределы малого допуска можно обеспечить целенаправленным изменением (пригонкой) одного из составляющих звеньев, называемого компенсатором. Размер компенсатора для конкретного экземпляра изделия в большинстве случаев определяется измерением полости под компенсатор, сформированной при предварительной сборке части изделия, в которую входят те детали, размеры которых являются составляющими звеньями рассматриваемой конструкторской размерной цепи. При этом на место замыкающего звена размерной цепи обычно устанавливается его эталон, а компенсатор в изделие не устанавливается. Затем компенсатор пригоняется к измеренному размеру каким-либо методом мехобработки, соответствующим форме и материалу компенсатора (фрезерованием, шлифованием, точе-

нием и т. п.). При окончательной сборке экземпляра изделия без эталона и с пригнанным без погрешностей компенсатором замыкающее звено будет равно размеру эталона.

При использовании пригонки компенсатора устраняется прямая зависимость отклонения замыкающего звена от отклонений остальных составляющих звеньев размерной цепи, но возникает его зависимость от погрешности эталона и от отклонения размера пригнутого компенсатора от размера полости под компенсатор, полученной при предварительной сборке. Таким образом, точное выполнение пригоночных работ позволяет получать высокую точность замыкающего звена при малой точности остальных (кроме компенсатора) составляющих звеньев. Однако большая трудоемкость предварительной сборки-разборки изделия, измерения и пригонки не позволяют экономически эффективно применять этот метод при больших объемах выпуска изделий в серийном и массовом производстве. Метод пригонки обычно используется в единичном и мелкосерийном производстве.

На роль пригоняемого компенсатора рекомендуется принимать деталь, отвечающую следующим требованиям:

- компенсатор пригоняемым размером может 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.

Обычно компенсаторами являются прокладки, пластины, шайбы, дистанционные кольца и т. п.

Решение сборочных конструкторских размерных цепей в случае использования метода пригонки заключается в расчете:

- величины компенсации (части суммы допусков составляющих звеньев, подлежащей компенсации пригонкой компенсатора);
- размера эталона замыкающего звена;
- возможного поля рассеяния замыкающего звена с учетом погрешностей пригоночных работ и сравнения его с заданным допуском замыкающего звена (проверка условия достижения точности сборки);
- размера первоначально изготовленных для всех экземпляров изделия компенсаторов;
- диапазона изменения размера компенсаторов при пригонке (максимального припуска на пригонку);
- доли собираемых изделий, не требующих пригонки первоначально изготовленных компенсаторов.

Эти параметры должны определяться с учетом обеспечения минимальной металлоемкости первоначально изготовленных компенсаторов и минимальной трудоемкости их последующей пригонки.

Установить взаимосвязь между предельными значениями замыкающего звена, составляющих звеньев, компенсатора, погрешностями пригоночных работ можно на основе наглядной, компактной и рациональной схемы компенсации допусков составляющих звеньев, которую можно 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  $A_{\Sigma}$  является алгебраической суммой всех увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев реальной цепи (кроме компенсатора), а

его допуск  $TA_{\Sigma}$  равен арифметической сумме допусков составляющих звеньев (кроме компенсатора)

$$A_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n \vec{A}_j - \sum_{j=1}^m \bar{A}_j . \quad (2.1)$$

Если при расчете по формуле (2.1) получится положительное значение суммарного составляющего звена  $A_{\Sigma}$ , то оно является увеличивающим звеном, а если получится отрицательное значение, то оно является уменьшающим звеном.

Предельные значения увеличивающего суммарного составляющего звена можно определить по формулам, аналогичным тем, которые используются для расчета предельных размеров замыкающего звена методом максимума – минимума [1, 2, 3]:

$$\vec{A}_{\Sigma \max} = \sum_{j=1}^n \vec{A}_{j \max} - \sum_{j=1}^m \bar{A}_{j \min} , \quad (2.2)$$

$$\bar{A}_{\Sigma \min} = \sum_{j=1}^n \bar{A}_{j \min} - \sum_{j=1}^m \vec{A}_{j \max} \quad (2.3)$$

где  $A_{j \max(\min)}$  – предельный размер  $j$ - того уменьшающего или увеличивающего звена конструкторской цепи;  $n$  и  $m$  – число увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев соответственно (кроме компенсатора).

При определении предельных значений уменьшающего суммарного составляющего звена по формулам (2.2) и (2.3) будут получаться отрицательные значения. Чтобы использовать в дальнейших расчетах положительные предельные значения уменьшающего суммарного составляющего звена, так, как это принято в традиционных расчетах размерных цепей методом максимума-минимума, их следует определять по формулам:

$$\bar{A}_{\Sigma \max} = \sum_{j=1}^m \bar{A}_{j \max} - \sum_{j=1}^n \vec{A}_{j \min} , \quad (2.4)$$

$$\vec{A}_{\Sigma \min} = \sum_{j=1}^m \bar{A}_{j \min} - \sum_{j=1}^n \vec{A}_{j \max} . \quad (2.5)$$

При этом уменьшающее влияние  $\vec{A}_{\Sigma}$  на замыкающее звено будет учтено соответствующим его расположением в трехзвенной математически равноценной цепи относительно замыкающего звена и компенсатора.

Таким образом, любая реальная сборочная конструкторская размерная цепь может быть преобразована в математически равноценную цепь, состоящую из суммарного составляющего звена  $A_{\Sigma}$ , компенсатора  $K$  и замыкающего звена  $A_{\Delta}$ .

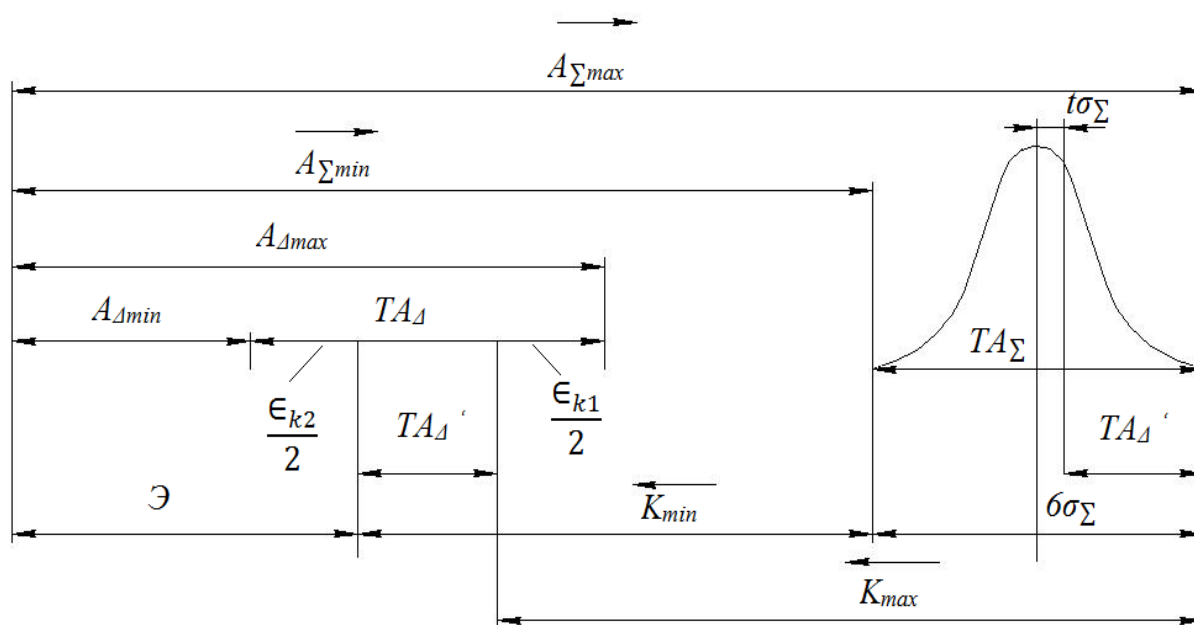
Тщательный анализ влияния компенсаторов на замыкающие звенья линейных сборочных конструкторских размерных цепей для машин разного назначения позволяет свести все многообразие реальных сборочных конструкторских цепей к трем вариантам математически равноценных трехзвенных цепей, характеризующихся следующим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

- 1) увеличивающие суммарное составляющее звено и увеличивающий компенсатор ( $\vec{A}_\Sigma \dot{=} \vec{E}$ );
- 2) увеличивающие суммарное составляющее звено и уменьшающий компенсатор ( $\vec{A}_\Sigma \dot{=} \vec{E}$ );
- 3) уменьшающее суммарное составляющее звено и увеличивающий компенсатор ( $\vec{A}_\Sigma \dot{=} \vec{E}$ ).

Сочетание уменьшающего суммарного составляющего звена и уменьшающего компенсатора ( $\vec{A}_\Sigma \dot{=} \vec{E}$ ) в трехзвенных размерных цепях невозможно.

На основе указанных трех вариантов трехзвенных цепей можно разработать три типовые схемы компенсации допусков составляющих звеньев для всех возможных случаев, встречающихся на практике.

Рассмотрим построение схемы компенсации суммарного допуска составляющих звеньев 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 допуска (рисунок 3.1). При этом границы допуска суммарного звена должны быть связаны с границами поля допуска замыкающего звена максимальным  $K_{max}$  и минимальным  $K_{min}$  размерами компенсатора.



**Рисунок 3.1 – Схема компенсации суммарного допуска составляющих звеньев путем пригонки уменьшающего компенсатора при увеличивающем суммарном составляющем звене**

Значение  $K_{max}$  потребуется для того экземпляра изделия, у которого суммарное составляющее звено имеет максимальное значение  $A_{\Sigma max}$ . Поэтому первоначально изготовленные компенсаторы (без пригонки) для снижения их металлоемкости не следует изготавливать с размером большим, чем  $K_{max}$ . Значение  $K_{min}$  потребуется для того экземпляра изделия, у которого суммарное составляющее звено имеет минимальное значение  $A_{\Sigma min}$  и соответствует компенсатору, с которого при пригонке удален максимальный припуск, чтобы обеспечить попадание замыкающего звена в пределы его допуска. При этом, чтобы минимизировать припуск на пригонку и трудоемкость пригонки, следует

обеспечить минимально возможную разницу между  $K_{max}$  и  $K_{min}$  при условии попадания замыкающего звена в пределы его допуска  $TA_{\Delta}$ . С целью минимизации металлоемкости компенсаторов и с учетом использования первоначально изготовленного компенсатора без пригонки для достижения значения замыкающего звена  $A_{\Delta max}$  номинал  $K_{max}$  можно было бы определить как разность между  $A_{\Sigma max}$  и  $A_{\Delta max}$ . Однако первоначально изготовленный компенсатор может иметь погрешность изготовления  $\varepsilon_{k1}$ . При условии симметричного расположения поля рассеяния этой погрешности номинал и предельные отклонения первоначально изготовленного компенсатора будут иметь значения  $K_{max} \pm \varepsilon_{k1}/2$ . Применение первоначально изготовленного компенсатора с годным размером  $K = A_{\Sigma max} - A_{\Delta max} - \varepsilon_{k1}/2$  при максимальном значении суммарного составляющего звена приведет к выходу замыкающего звена за верхнюю границу  $TA_{\Delta}$ . Поэтому для гарантии попадания замыкающего звена в его поле допуска в качестве  $K_{max}$  следует принять размер между наиболее удаленной от поля допуска замыкающего звена границы  $TA_{\Sigma}$  до точки в пределах  $TA_{\Delta}$ , от стоящей на половину погрешности первоначально изготовленного компенсатора  $\varepsilon_{k1}/2$  от верхней границы  $TA_{\Delta}$  (рисунок 3.1), то есть использовать при определении  $K_{max}$  желаемое значение замыкающего звена, определяемое по формуле:

$$\dot{A}_{\Delta ce} = \tilde{A}_{\Delta max} - \frac{\varepsilon_{e1}}{2}. \quad (2.6)$$

Для минимизации максимального припуска на пригонку (разности  $K_{max} - K_{min}$ ) следует стремиться пригонять компенсатор для получения  $A_{\Delta min}$ . Но с учетом погрешности формирования размера пригоняемого компенсатора  $\varepsilon_{k2}$  в качестве  $K_{min}$  следует принять размер между наименее удаленной от поля допуска  $TA_{\Delta}$  границы  $TA_{\Sigma}$  до точки в пределах  $TA_{\Delta}$ , отстоящей на половину погрешности пригоняемого компенсатора  $\varepsilon_{k2}/2$  от нижней границы  $TA_{\Delta}$  (рисунок 2.1). Аналогично для минимизации припуска, удаляемого при пригонке с компенсатора размером  $K_{max}$  для конкретного экземпляра изделия, целесообразно стремиться к получению значения замыкающего звена  $A_{\Delta n} = A_{\Delta min} + \varepsilon_{k2}/2$ . Следовательно, размер эталона замыкающего звена  $\mathcal{E}$  должен быть равен этому значению (рисунок 3.1):

$$\mathcal{E} = A_{\Delta min} + \varepsilon_{k2}/2. \quad (2.7)$$

Если для заданного допуска замыкающего звена  $TA_{\Delta}$  выполняется условие

$$TA_{\Delta} > \varepsilon_{k1}/2 + \varepsilon_{k2}/2, \quad (2.8)$$

то, запас допуска замыкающего звена можно определить по формуле

$$TA'_{\Delta} = TA_{\Delta} - \varepsilon_{k1}/2 - \varepsilon_{k2}/2. \quad (2.9)$$

Из схемы компенсации (рисунок 3.1) видно, что запас допуска замыкающего звена позволяет использовать компенсатор  $K_{max}$  без пригонки для той доли изделий, у которых суммарное составляющее звено  $A_{\Sigma i}$  удовлетворяет условию

$$A_{\Sigma max} \geq A_{\Sigma i} \geq A_{\Sigma max} - TA'_{\Delta}. \quad (2.10)$$

Для наглядного представления доли таких изделий на схеме компенсации показана кривая нормального распределения значений  $A_{\Sigma}$  с указанием запаса допуска замыкающего звена  $TA'_{\Delta}$  в пределах поля рассеяния суммарного составляющего звена ( $TA_{\Sigma}$ ), в который попадают значения  $A_{\Sigma}$  тех экземпляров изделия, для которых не требуется пригонка первоначально изготовленного компенсатора. Доля изделий, не требующих пригонки компенсатора, соответствует площади под кривой нормального распределения





## 2.2 Составление условия достижения точности замыкающего звена и выражений для расчета предельных размеров компенсаторов и припуска на пригонку

Как отмечалось ранее, поле рассеяния замыкающего звена конструкторской сборочной цепи для изделий после окончательной сборки будет равно полю рассеяния компенсаторов после пригонки ( $\varepsilon_{к2}$ ), которое сформировано в результате измерений полостей под компенсатор при предварительных сборках изделий и пригонки компенсаторов к измеренным размерам, или полю рассеяния предварительно изготовленных компенсаторов  $\varepsilon_{к1}$  (для экземпляров изделий, не требующих пригонки компенсаторов). Для определения  $\varepsilon_{к2}$  после пригонки следует выявить и решить технологическую сборочную размерную цепь, которая формируется на этапе предварительной сборки изделия. Замыкающим звеном в ней является размер полости под компенсатор, а составляющими звеньями, кроме размеров деталей изделия, также являются размеры используемой сборочной оснастки (эталона замыкающего звена конструкторской цепи) и погрешности выполнения сборочных работ. При окончательной сборке экземпляра изделия из комплектующих деталей и пригнанного компенсатора, отклонение замыкающего звена конструкторской цепи от эталона Э будет равно отклонению размера пригнанного компенсатора от размера полости под компенсатор, сформированной и измеренной при предварительной сборке. Это отклонение складывается из отклонений тех звеньев технологической цепи, которые при предварительной сборке конкретного изделия могут приобретать случайные значения, отличающиеся от их значений в конструкторской цепи и звеньев, отсутствующих в конструкторской цепи. К ним относятся: погрешность изготовления эталона замыкающего звена  $\varepsilon_{э}$ , погрешность установки эталона  $\varepsilon_{уэ}$ , погрешность измерения полости под компенсатор  $\varepsilon_{и}$ , погрешность пригонки компенсатора  $\varepsilon_{п}$ .

Таким образом, с учетом изложенного и составленных схем компенсации допусков составляющих звеньев, условие достижения точности замыкающего звена  $A_{\Delta}$ , отражающее требуемое соотношение допусков и погрешностей сборочных работ, можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} TA_{\Delta} &\geq TA'_{\Delta} + \varepsilon_{к1}/2 + \varepsilon_{к2}/2 \geq \\ &\geq TA'_{\Delta} + \varepsilon_{к1}/2 + \varepsilon_{э}/2 + \varepsilon_{уэ}/2 + \varepsilon_{и}/2 + \varepsilon_{п}/2. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Учитывая допущение о том, что параметры формулы (2.11) являются случайными величинами, зависящими от большого числа случайных факторов, и поэтому подчиняются нормальному закону распределения, то для их сложения можно использовать правила сложения случайных величин [2, 9]. Тогда условие достижения точности замыкающего звена можно записать следующим образом:

$$TA_{\Delta} \geq \sqrt{(TA'_{\Delta})^2 + \varepsilon_{к1}^2/4 + \varepsilon_{э}^2/4 + \varepsilon_{уэ}^2/4 + \varepsilon_{и}^2/4 + \varepsilon_{п}^2/4} \quad (2.12)$$

Выражения (2.11) или (2.12) следует использовать для оценки приемлемости выбора точности первоначально изготовленного компенсатора, точности сборочной оснастки (эталона и средства измерения полости под компенсатор) и метода пригонки компенсатора для достижения точности замыкающего звена  $A_{\Delta}$ . При этом возможен крайний случай, когда сумма погрешности первоначально изготовленного компенсатора и погрешностей пригоночных работ равна допуску замыкающего звена и, следовательно,  $TA'_{\Delta}=0$ . В этом случае все экземпляры собираемых изделий потребуют пригонки компенсатора, то есть отсутствуют резервы сокращения затрат на пригонку.

В соответствие со схемой компенсации, изображенной на рисунке 3.1, номинал первоначально изготовленного уменьшающего компенсатора  $K_{max}$  и номинал минимального компенсатора  $K_{min}$  можно определить по следующим формулам:

$$\vec{K}_{max} = \vec{A}_{\Sigma max} - A_{\Delta max} + \frac{\epsilon_{\kappa 1}}{2}, \quad (2.13)$$

$$\vec{K}_{min} = \vec{A}_{\Sigma min} - A_{\Delta min} - \frac{\epsilon_{\kappa 2}}{2}. \quad (2.14)$$

Максимально возможный припуск на пригонку  $Z_{max}$  придется снять в том случае, если компенсатор с первоначальным размером  $K_{max}$  потребуется пригнать в размер  $K_{min}$ . Выражение для  $Z_{max}$  получим, вычитая почленно формулу (2.14) из (2.13):

$$Z_{max} = TA_{\Sigma} - TA_{\Delta} + \frac{\epsilon_{\kappa 1}}{2} + \frac{\epsilon_{\kappa 2}}{2} \quad (2.15)$$

Для схемы компенсации на рисунке 3.2 с увеличивающим компенсатором и уменьшающим суммарным составляющим звеном уравнения для предельных размеров компенсаторов и максимального припуска на пригонку получаются аналогично:

$$\vec{K}_{max} = \vec{A}_{\Sigma max} + A_{\Delta min} + \frac{\epsilon_{\kappa 1}}{2}, \quad (2.16)$$

$$\vec{K}_{min} = \vec{A}_{\Sigma min} + A_{\Delta max} - \frac{\epsilon_{\kappa 2}}{2}. \quad (2.17)$$

Вычитая почленно формулу (2.17) из (2.16), получим уравнение для расчета  $Z_{max}$ , полностью совпадающее с уравнением (2.15).

Размер эталона замыкающего звена для схемы на рисунке 3.2 следует определять по формуле

$$\dot{Y} = \dot{A}_{\Delta max} - \frac{\epsilon_{\hat{e} 2}}{2}. \quad (2.18)$$

Для схемы компенсации на рисунке 3.3 с увеличивающим компенсатором и увеличивающим суммарным составляющим звеном уравнения для предельных размеров компенсаторов и максимального припуска на пригонку получаются аналогично:

$$\vec{K}_{max} = A_{\Delta min} + \frac{\epsilon_{\kappa 1}}{2} - \vec{A}_{\Sigma min}, \quad (2.19)$$

$$\vec{K}_{min} = A_{\Delta max} - \frac{\epsilon_{\kappa 2}}{2} - \vec{A}_{\Sigma max}. \quad (2.20)$$

Вычитая почленно формулу (2.20) из (2.19), получим уравнение для расчета  $Z_{max}$ , полностью совпадающее с уравнением (2.15).

Размер эталона замыкающего звена для схемы на рисунке 3.3 следует определять по формуле

$$\dot{Y} = \dot{A}_{\Delta max} - \frac{\epsilon_{\hat{e} 2}}{2}. \quad (2.21)$$

Как видно из равенства (2.15) максимальный припуск на пригонку  $Z_{max}$  увеличивается с увеличением допуска суммарного составляющего звена, допуска первоначально изготовленного компенсатора, погрешностей пригоночных работ, и, как следствие, растет средняя трудоемкость пригонки.

### 2.3 Определение доли собираемых изделий, не требующих пригонки первоначально изготовленного компенсатора

Как отмечено ранее, наличие запаса допуска замыкающего звена позволяет использовать предварительно изготовленный компенсатор с размером  $K_{max}$  без пригонки для некоторой части изделий, соответствующих условию (2.10). Для таких изделий размер полости под компенсатор  $K_u$ , измеренный при предварительной сборке, будет соответствовать условию

$$\tilde{E}_{max} - \dot{O}A'_\Delta \leq K_e \leq K_{max}. \quad (2.22)$$

Доля изделий, для которых выдерживается условие (2.22) и не требуется пригонка компенсатора, может быть определена на основе известных положений теории вероятности. Рассматривая суммарный составляющий размер как случайную величину, являющуюся суммой большого числа слагаемых случайных величин, можно считать, что его значения подчиняются нормальному закону распределения в пределах поля рассеяния  $6\sigma_\Sigma$  [3, 4, 5]. Тогда среднеквадратическое отклонение суммарного составляющего звена можно определить по формуле

$$\sigma_\Sigma = TA_\Sigma / 6. \quad (2.23)$$

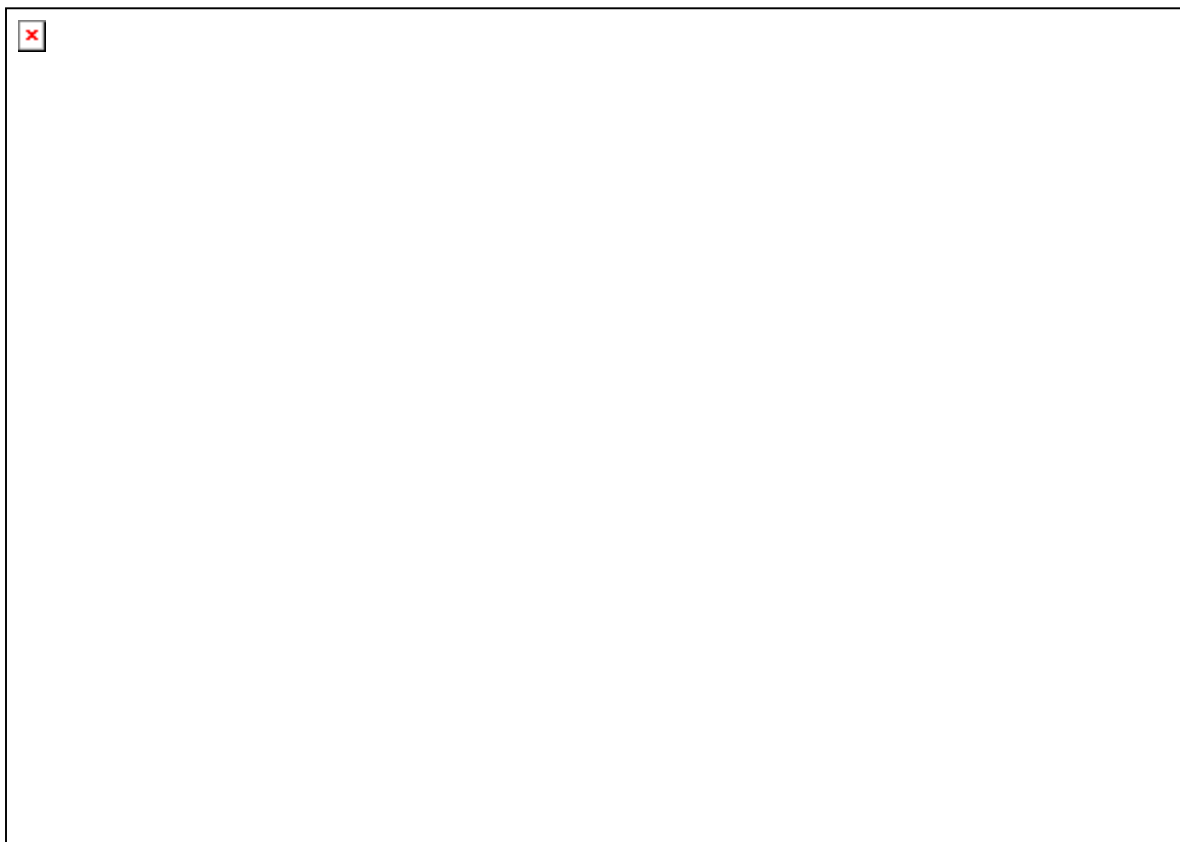
На схеме компенсации (рисунок 3.1) представлена кривая нормального распределения значений  $A_\Sigma$  с указанием на оси абсцисс отрезка  $TA'_\Delta$ , в который попадают значения тех экземпляров изделий, для которых не требуется пригонка компенсатора. Для определения доли таких экземпляров в партии собираемых изделий 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 схеме, изображенной на рисунке 3.1, функцию Лапласа можно использовать для определения вероятности попадания значений  $A_\Sigma$  в интервал между серединой  $TA_\Sigma$  и значением  $A_{\Sigma max} - TA'_\Delta$ . Аргументом функции Лапласа  $\Phi(t)$  является коэффициент риска  $t$ , который в нашем случае можно определить делением указанного интервала на среднеквадратическое отклонение  $\sigma_\Sigma$

$$t = \frac{TA_\Sigma / 2 - \dot{O}A'_\Delta}{\sigma_\Sigma}. \quad (2.24)$$

Значение функции Лапласа  $\Phi(t)$  для полученного аргумента  $t$  можно определить по специальной таблице [1, 2, 3]. Учитывая, что вероятность попадания значений  $A_\Sigma$  в половину поля его допуска равна 0,5, выражение для определения доли изделий  $P$ , для которых не требуется пригонка компенсатора, получим вычитая из 0,5 значение  $\Phi(t)$

$$P = 0,5 - \Phi(t). \quad (2.25)$$

Поясним применение разработанной методики на примере достижения точности замыкающего звена сборочной конструкторской размерной цепи цилиндрического редуктора (рисунок 3.4), которым является тепловой зазор между торцом подшипника и торцом крышки.



**Рисунок 3.4 – Сборочный чертеж цилиндрического редуктора**

Схема сборочной конструкторской размерной цепи для замыкающего звена  $A_{\Delta} = 0,5 \pm 0,25$  приведена на рисунке 3.5.

Данная размерная цепь включает следующие составляющие звенья:

$A_1$  – расстояние между правой границей замыкающего звена и основной конструкторской базой крышки, контактирующей со вспомогательной конструкторской базой прокладки;

$A_2$  – расстояние между вспомогательной конструкторской базой прокладки и основной конструкторской базой прокладки, контактирующей с вспомогательной конструкторской базой корпуса;

$A_3$  – расстояние между левой границей замыкающего звена и основной конструкторской базой правого подшипника, контактирующей с вспомогательной конструкторской базой дистанционной втулки;

$A_4$  – расстояние между вспомогательной конструкторской базой дистанционной втулки и основной конструкторской базой дистанционной втулки, контактирующей с вспомогательной конструкторской базой зубчатого колеса;

$A_5$  – расстояние между вспомогательной конструкторской базой зубчатого колеса и основной конструкторской базой зубчатого колеса, контактирующей с вспомогательной конструкторской базой вала;

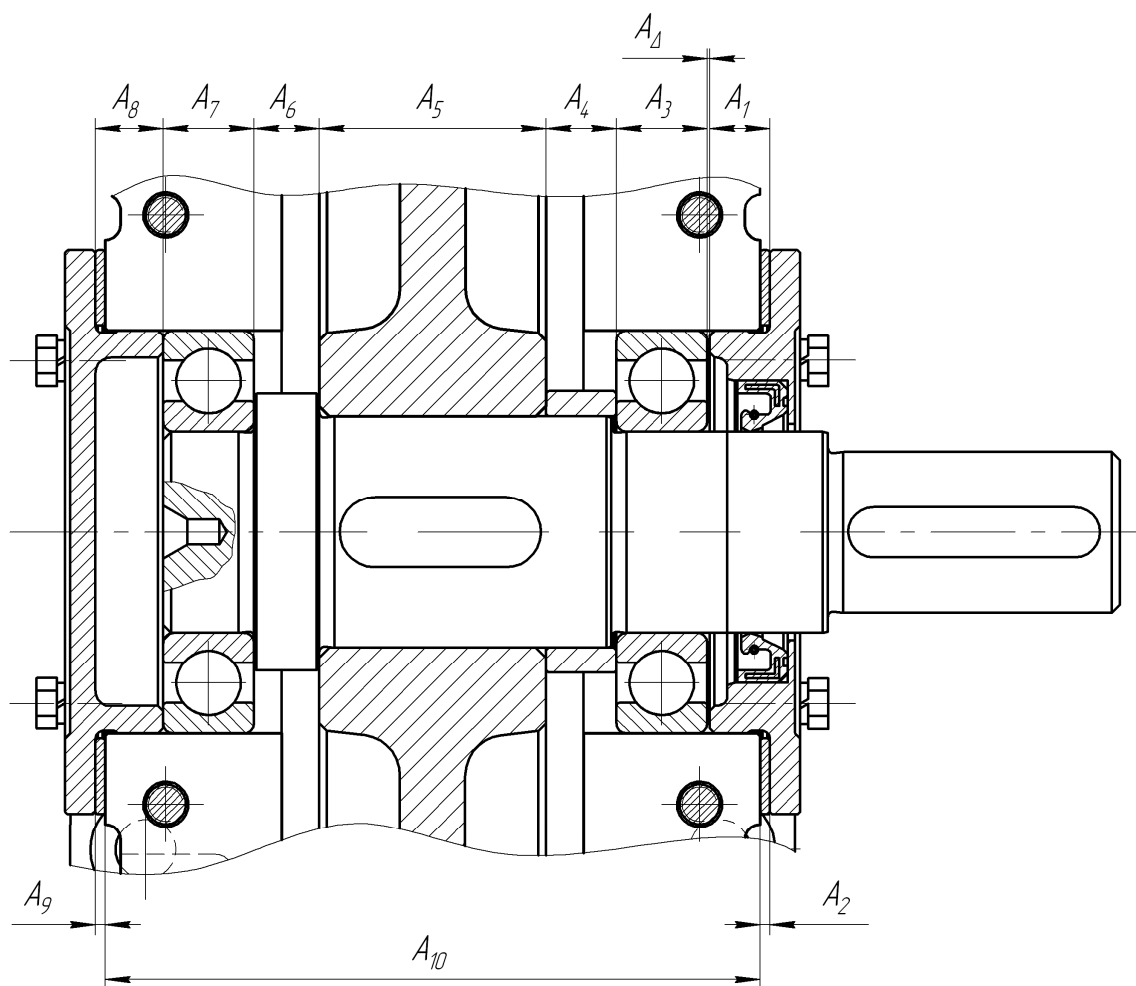
$A_6$  – расстояние между вспомогательной конструкторской базой вала и основной конструкторской базой вала, контактирующей с вспомогательной конструкторской базой левого подшипника;

$A_7$  – расстояние между вспомогательной конструкторской базой левого подшипника и основной конструкторской базой левого подшипника, контактирующей с вспомогательной конструкторской базой левой крышки;

$A_8$  – расстояние между вспомогательной конструкторской базой левой крышки и основной конструкторской базой левой крышки, контактирующей с вспомогательной конструкторской базой левой прокладки;

$A_9$  – расстояние между вспомогательной конструкторской базой левой прокладки и основной конструкторской базой левой прокладки, контактирующей с другой вспомогательной конструкторской базой корпуса.

$A_{10}$  – расстояние между двумя вспомогательными конструкторскими базами корпуса.



**Рисунок 3.5 – Схема сборочной конструкторской размерной цепи редуктора цилиндрического**

Номинальные значения составляющих звеньев принимались по чертежам соответствующих деталей, входящих в комплект конструкторской документации на редуктор.

В качестве компенсатора  $K$  выберем увеличивающее звено  $A_2$  (толщина прокладки), так как оно наиболее полно отвечает всем требованиям, предъявляемым к компенсатору, указанным в пункте 1.1. Компенсатор  $K$  является увеличивающим звеном, так как при его увеличении замыкающее звено  $A_4$  увеличивается.

На составляющие звенья (кроме компенсатора) назначаем экономически приемлемые допуски по 11 качеству [1]. Положение полей допусков составляющих звеньев (кроме компенсатора) назначаем по аналогии с традиционными проектными расчетами размерных цепей методом максимума-минимума (для увеличивающих звеньев как для

основных отверстий, для уменьшающих звеньев как для основных валов) [1, 3]. Таким образом, получены следующие номиналы и предельные отклонения составляющих звеньев:  $A_1 = 12_{-0,11} \text{ мм}$ ,  $A_3 = 18_{-0,11} \text{ мм}$ ,  $A_4 = 14_{-0,11} \text{ мм}$ ,  $A_5 = 45_{-0,16} \text{ мм}$ ,  $A_6 = 13_{-0,11} \text{ мм}$ ,  $A_7 = 18_{-0,11} \text{ мм}$ ,  $A_8 = 13,5_{-0,11} \text{ мм}$ ,  $A_9 = 2^{+0,06} \text{ мм}$ ,  $A_{10} = 130^{+0,25} \text{ мм}$ .

Из условия замкнутости размерной цепи (наминал замыкающего звена равен разности между суммой номиналов увеличивающих и суммой номиналов уменьшающих звеньев) следует, что номинал компенсатора  $K = A_2 = 2 \text{ мм}$ .

Значение суммарного составляющего звена определяем по формуле (2.1)

$$A_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n \vec{A}_j - \sum_{j=1}^m \vec{A}_j = 130 + 2 - 12 - 18 - 14 - 45 - 13 - 18 - 13,5 = -1,5 \text{ мм}.$$

Так как получено отрицательное значение, следовательно,  $A_{\Sigma}$ , является уменьшающим звеном.

Для дальнейших расчетов принимаем схему компенсации с увеличивающим компенсатором и уменьшающим суммарным составляющим звеном, представленную на рисунке 3.2.

Допуск суммарного составляющего звена определяем как арифметическую сумму допусков составляющих звеньев (кроме компенсатора)

$$TA_{\Sigma} = 0,11 + 0,11 + 0,11 + 0,16 + 0,11 + 0,11 + 0,11 + 0,06 + 0,25 = 1,13 \text{ мм}.$$

Предельные значения суммарного составляющего звена определяем по формулам (2.4) и (2.5):

$$\begin{aligned} \vec{A}_{\Sigma \max} &= \sum_{j=1}^m \vec{A}_{j \max} - \sum_{j=1}^n \vec{A}_{j \min} = \\ &= 12 + 18 + 14 + 45 + 13 + 18 + 13,5 - 130 - 2 = 1,5 \text{ мм}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \vec{A}_{\Sigma \min} &= \sum_{j=1}^m \vec{A}_{j \min} - \sum_{j=1}^n \vec{A}_{j \max} = \\ &= 11,89 + 17,89 + 13,89 + 44,84 + 12,89 + 17,89 + 13,39 - 130,25 - 2,06 = 0,37 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Предварительно выбираем следующие параметры точности сборочной оснастки и пригоночных работ, учитывая необходимость снижения затрат на сборочные работы:

– погрешность изготовления эталона замыкающего звена предварительно принимаем равной допуску для размеров до 3 мм по 9 качеству из таблицы допусков (ГОСТ 25346-82)  $\varepsilon_9 = 0,074 \text{ мм}$ , что не приведет к большим затратам на изготовление эталона;

– погрешность установки эталона в виде тонкого кольца примем равной отклонению от плоскостности его торцевой поверхности диаметром 60 мм, которое назначим по 10-й степени точности формы (ГОСТ 24643-81)  $\varepsilon_9 = 0,06 \text{ мм}$ , что не приведет к большим затратам на изготовление эталона;

– погрешность измерения зазора под компенсатор (сформированного при предварительной сборке) будет зависеть от принятого измерительного средства. Для измерения малого зазора под компенсатор (около 2 мм), но доступного снаружи, из недорогих измерительных средств наиболее подходит набор измерительных щупов. Принимаем

наиболее простой набор с разностью толщин соседних щупов 0,1 мм и погрешность измерения принимаем равной этой разности  $\varepsilon_U = 0,1$  мм [4];

– погрешность пригонки компенсатора будет зависеть от принятого метода пригонки. Для мехобработки плоского торца кольцевого компенсатора в условиях мелкосерийного производства, при ожидаемом максимальном припуске на пригонку немного меньше допуска суммарного составляющего звена 1,13 мм, удаляемом за один проход, целесообразно принять однократное фрезерование торцевой фрезой на вертикально-фрезерном станке, оснащенный магнитной плитой. В соответствии с таблицами точности мехобработки [9,10] при однократном фрезеровании размер от чистовой технологической базы до обрабатываемой поверхности может быть выдержан по 10-му качеству. Поэтому погрешность пригонки принимаем равной допуску для размера до 3 мм по 10-му качеству  $\varepsilon_n = 0,048$  мм.

– погрешность компенсатора  $\varepsilon_{k1}$ , первоначально изготовленного чистовым фрезерованием принимаем равной технологическому допуску размера от базы до обрабатываемой поверхности. По таблицам точности мехобработки [9,10] такой размер при чистовом фрезеровании может быть выдержан с допуском, соответствующим 10-му качеству. Для размера до 3 мм  $\varepsilon_{k1} = 0,048$  мм.

Проверим приемлемость выбранных элементов сборочной технологической оснастки и методов пригоночных работ для достижения точности замыкающего звена  $A_\Delta$  с допуском 0,5 мм по условию (2.11)

$$\begin{aligned} TA_\Delta = 0,5 &\geq TA'_\Delta + \varepsilon_{k1}/2 + \varepsilon_\beta/2 + \varepsilon_{\gamma\beta}/2 + \varepsilon_U/2 + \varepsilon_n/2 = \\ &= TA'_\Delta + 0,024 + 0,037 + 0,03 + 0,05 + 0,024 = TA'_\Delta + 0,165 \end{aligned}$$

Так как сумма погрешностей первоначально изготовленного компенсатора, оснастки и пригоночных работ, равная 0,165 мм, меньше допуска  $TA = 0,5$  мм, то точность сборки обеспечивается с запасом. Запас допуска замыкающего звена  $TA'_\Delta = 0,5 - 0,165 = 0,335$  мм можно использовать для определения доли изделий, для которых не потребуется пригонка компенсатора.

Определим предельные размеры компенсатора по уравнениям (2.16), (2.17):

$$\begin{aligned} \vec{K}_{\max} &= \vec{A}_{\Sigma \max} + A_{\Delta \min} + \varepsilon_{k1}/2 = 1,5 + 0,25 + 0,024 = 1,774 \text{ мм}, \\ \vec{K}_{\min} &= \vec{A}_{\Sigma \min} + A_{\Delta \max} - \varepsilon_{k2}/2 = 0,37 + 0,75 - 0,141 = 0,979 \text{ мм} \end{aligned}$$

Максимальный припуск на пригонку определим по формуле (2.15)

$$Z_{\max} = TA_\Sigma - TA_\Delta + \varepsilon_{k1}/2 + \varepsilon_{k2}/2 = 1,13 - 0,5 + 0,024 + 0,141 = 0,795 \text{ мм}.$$

Размер эталона замыкающего звена определим по формуле (2.18)

$$\dot{Y} = \dot{A}_{\Delta \max} - \varepsilon_{\delta 2}/2 = 0,75 - 0,141 = 0,609 \text{ мм}.$$

Среднеквадратическое отклонение суммарного составляющего звена определим по формуле (2.23)

$$\sigma_\Sigma = \frac{\dot{A}_\Sigma}{6} = 1,13/6 = 0,1883.$$

Для определения доли изделий, для которых не потребуется пригонка компенсатора, рассчитаем коэффициент риска  $t$  по формуле (2.24)

$$t = \frac{TA_{\Sigma} / 2 - \hat{O}A'_{\Delta}}{\sigma_{\Sigma}} = (1,13/2 - 0,335) / 0,1883 = 1,22.$$

По таблице значений функции Лапласа [2] при коэффициенте риска  $t = 1,22$  находим  $\Phi(t) = 0,39$ .

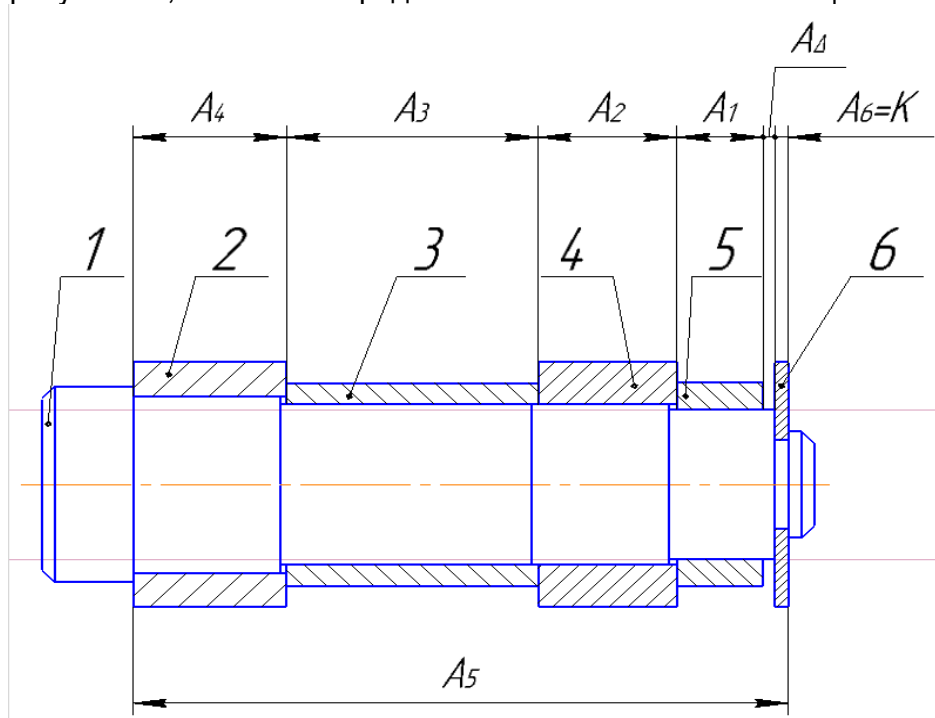
Долю изделий, для которых не потребуется пригонка компенсатора, определим по формуле (2.25)

$$P = 0,5 - \hat{O}(t) = 0,5 - 0,39 = 0,11.$$

Таким образом, для 11% собираемых редукторов не потребуется пригонка компенсаторов.

#### 4 Порядок выполнения работы

4.1 Получить у преподавателя партию сборочных единиц, конструкция которых представлена на рисунке 4.1, и значения предельных отклонений замыкающего звена  $A_{\Delta}$ .



**Рисунок 4.1 – Сборочная единица и схема сборочной конструкторской размерной цепи для зазора  $A_{\Delta}$**

4.2 Проанализировать взаимную ориентацию деталей в сборочной единице (вал 1, втулки 2, 3, 4, 5, вилочная шайба 6) по основным и вспомогательным конструкторским базам и изобразить схему сборочной конструкторской размерной цепи, в которой замыкающим звеном  $A_{\Delta}$  является зазор между втулкой 5 и вилочной шайбой 6. Принять следующие значения номиналов составляющих звеньев цепи:  $A_1 = 15$  мм;  $A_2 = 20$  мм;  $A_3 = 35$  мм;  $A_4 = 25$  мм;  $A_5 = 99$  мм;  $A_6 = 3$  мм. Номинал  $A_{\Delta}$  определить из условия замкну-



тости размерной цепи (наминал замыкающего звена равен разности между суммой номиналов увеличивающих и суммой номиналов уменьшающих звеньев).

4.3 Выявить увеличивающие и уменьшающие составляющие звенья цепи.

4.4 Принять в качестве компенсатора вилочную шайбу 6 (рисунок 4.1) с размером  $A_6 = K$ , так как это наименее металлоемкая деталь сборочной единицы, ее удобно устанавливать на магнитную плиту при фрезеровании или шлифовании плоских торцов, и ее местоположение доступно для измерения. Кроме того, размер этого компенсатора находится в размерной цепи рядом с замыкающим звеном  $A_{\Delta}$ , что позволит при предварительной сборке сборочных единиц измерять сумму замыкающего звена и размера компенсатора, равную суммарному составляющему звену ( $A_{\Delta} + K_i = A_{\Sigma}$ ). В таком случае можно обойтись без эталона замыкающего звена, а требуемый размер компенсатора определить расчетом ( $K_i = A_{\Sigma} - \Delta$ ). Отсутствие материального эталона позволяет существенно сократить затраты времени и средств на пригоночные работы.

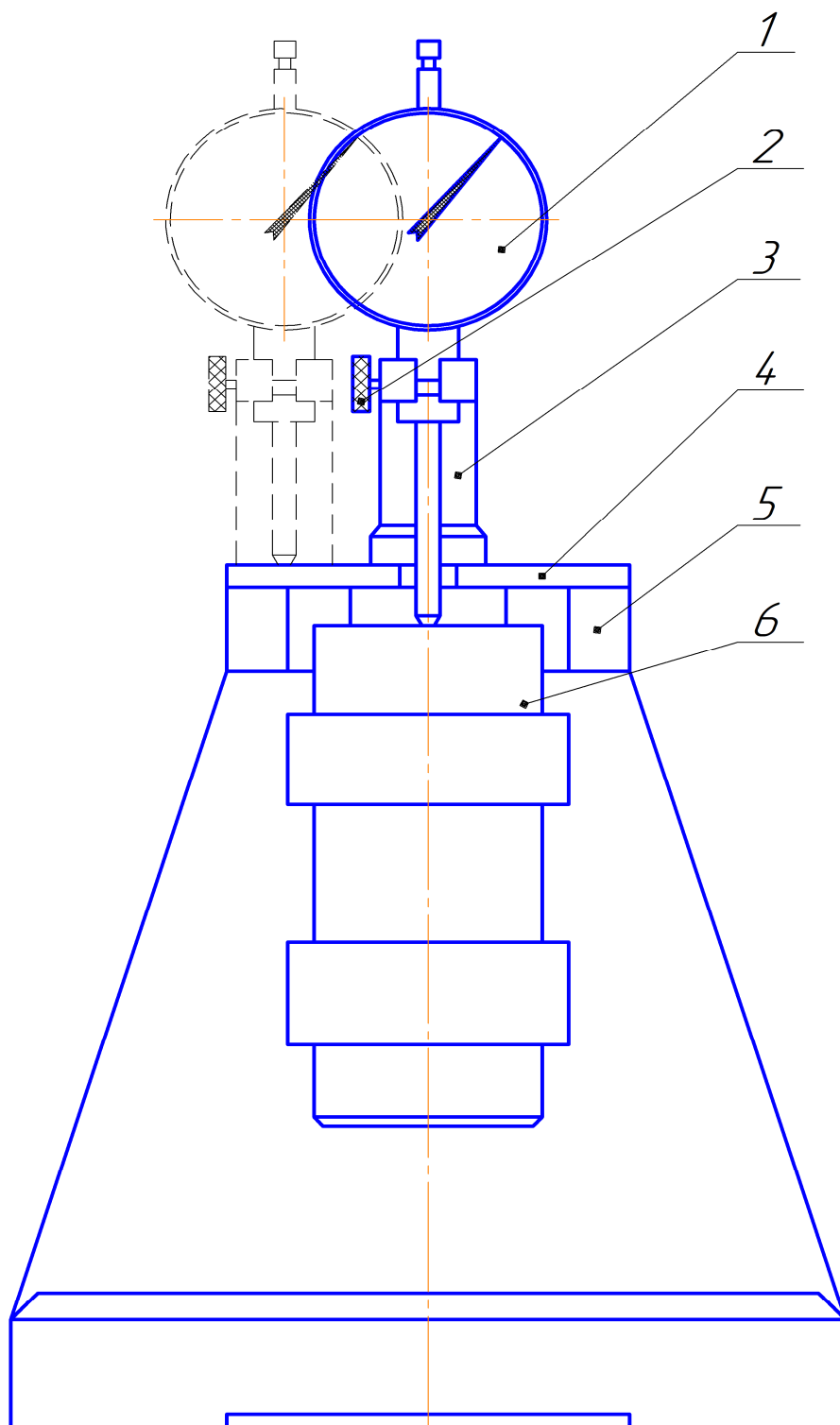
4.5 Определить номинал суммарного составляющего звена  $A_{\Sigma}$  по формуле (2.1) и определить вид его влияния на замыкающее звено (увеличивающее или уменьшающее звено).

4.6 Принять для дальнейшего выполнения работы одну из трех ранее описанных схем компенсации с учетом вида влияния  $A_{\Sigma}$  и  $K$  (увеличивающее или уменьшающее) на замыкающее звено  $A_{\Delta}$ .

4.7 Измерить значения суммарного составляющего звена  $A_{\Sigma}$  у всех экземпляров сборочной единицы выданной партии. Из-за того, что  $A_{\Sigma}$  в данном изделии имеет небольшое значение и его границы не находятся напротив друг друга, невозможно для его измерения использовать стандартные измерительные средства: штангенциркуль, нутромер, щупы. Однако, наличие прорези в вилочной шайбе (компенсаторе) дает возможность поочередно касаться измерительным наконечником индикатора ИЧ-10 плоскости компенсатора, сопряженной с торцом канавки вала (первая граница  $A_{\Sigma}$ ) и плоскости втулки 5 (вторая граница  $A_{\Sigma}$ ). Поэтому для измерения  $A_{\Sigma}$  с помощью индикатора ИЧ-10 в предварительно собранную сборочную единицу следует установить компенсатор. Измерение проводится в соответствии со схемой, представленной на рисунке 4.2. Предварительно собранную сборочную единицу 6 (рисунок 4.2) следует устанавливать на стойку 5 так, чтобы ее ось располагалась вертикально, и вилочная шайба 4 своим нижним торцом опиралась на выступы стойки 5. Стойка 5 и магнитный штатив 3, на котором индикатор 1 закреплен винтом 2, располагаются на контрольной плите. Магнитный штатив с отключенным магнитом сдвигается по плите так, чтобы оттянутый вверх измерительный наконечник индикатора оказался над верхним торцом вилочной шайбы. В этом положении наконечник отпускается до контакта с верхним торцом вилочной шайбы и включается магнит штатива. Считывается и запоминается первое показание индикатора. Затем отключается магнит штатива, приподнимается наконечник индикатора, и штатив сдвигается по плите до положения, в котором наконечник окажется над прорезью вилочной шайбы. Наконечник отпускается до контакта с верхним торцом верхней втулки сборочной единицы 6, включается магнит штатива и считывается второе показание индикатора. Значение суммарного составляющего звена определяется как разность между вторым и первым показаниями индикатора и заносится в строку таблицы 4.1, соответствующую номеру сборочной единицы.

Таблица 4.1 – Результаты измерений суммарных составляющих звеньев  $A_{\Sigma}$  и определения требуемых значений компенсаторов  $K_i$  для партии сборочных единиц

№ сборочной единицы	$A_{\Sigma}$ , мм	$K_i$ , мм



**Рисунок 4.2 – Схема измерения суммарного составляющего звена  $A_{\Sigma}$**

4.8 Выявить наибольшее  $A_{\Sigma max}$  и наименьшее  $A_{\Sigma min}$  значения из всех измеренных значений суммарного составляющего звена и определить его допуск  $TA_{\Sigma} = A_{\Sigma max} - A_{\Sigma min}$ .

4.9 Обосновать предварительный выбор метода пригонки компенсатора с учетом плоской формы пригоняемой поверхности и примерной величины максимального припуска на пригонку, который лишь немного меньше  $TA_{\Sigma}$ . Для снижения трудоемкости выбранный метод пригонки должен обеспечить удаление максимального припуска на пригонку за один – два прохода режущего инструмента. При этом следует учесть, что при шлифовании глубина резания, как правило, не превышает 0,05 мм.

4.10 Определить погрешности выполнения пригоночных работ (погрешность изготовления эталона замыкающего звена  $\varepsilon_{\varepsilon}$ , погрешность установки эталона  $\varepsilon_{y\varepsilon}$ , погрешность измерения полости под компенсатор  $\varepsilon_u$ , погрешность пригонки компенсатора  $\varepsilon_n$ ) и погрешность первоначально изготовленного компенсатора  $\varepsilon_{к1}$ .

Так как предварительную сборку данных сборочных единиц можно выполнять без эталона замыкающего звена, то следует принять  $\varepsilon_{\varepsilon} = 0$  и  $\varepsilon_{y\varepsilon} = 0$ .

Погрешность измерения индикатором часового типа следует определить по таблице 3 приложения с учетом модели индикатора.

Погрешности  $\varepsilon_n$  и  $\varepsilon_{к1}$  следует определить по таблице 2 приложения с учетом принятого метода пригонки и метода первоначального изготовления компенсатора.

4.11 Проверить условие достижения точности замыкающего звена (2.11) при найденных погрешностях сборочных работ. При несоблюдении условия достижения точности следует скорректировать либо метод измерения, либо метод пригонки, либо метод первоначального изготовления компенсатора и проверить условие (2.11) заново.

4.12 Определить значение предполагаемого эталона замыкающего звена  $\varepsilon$  по одной из формул: (2.7), (2.18), (2.21), соответствующих принятой схеме компенсации.

4.13 Определить запас допуска замыкающего звена  $TA'_{\Delta} = TA_{\Delta} - \varepsilon_{к1}/2 - \varepsilon_{к2}/2$ .

4.14 Определить предельные значения компенсаторов  $K_{max}$  и  $K_{min}$  по формулам, соответствующим принятой схеме компенсации (либо (2.13) и (2.14), либо (2.16) и (2.17), либо (2.19) и (2.20)).

4.15 Определить максимальный припуск на пригонку  $Z_{max}$  по формуле (2.15).

4.16 Для каждого экземпляра сборочной единицы определить требуемое значение компенсатора  $K_i$ : для изделий, соответствующих условию (2.10)  $K_i = K_{max}$ ; для остальных изделий  $K_i = A_{\Sigma i} - \varepsilon$ . Значения  $K_i$  занести в таблицу 4.1.

4.17 Экземпляры сборочных единиц, для которых удовлетворяется условие (2.10) и не требуется пригонка первоначально изготовленного компенсатора  $K_{max}$ , отметить в первом столбце таблицы 4.1 словами: «не требует пригонки». Определить фактическую долю  $P_{\phi}$  таких сборочных единиц делением их количества на общее количество сборочных единиц в партии.

4.18 Определить среднеквадратическое отклонение суммарного составляющего звена по формуле (2.23).

4.19 Определить коэффициент риска  $t$ , соответствующий доле изделий, для которых не потребуется пригонка компенсатора по формуле (2.24).

4.20 По таблице 4 приложения определить значение функции Лапласа  $\Phi(t)$  для коэффициента риска  $t$  и долю изделий, для которых не потребуется пригонка компенсатора по формуле (2.25).

4.21 Сравнить фактическую долю  $P_{\phi}$  с аналогичной долей  $P$ , определенной теоретически по формуле (2.25). Оценить степень их соответствия.

4.22 Для одного экземпляра сборочной единицы пригнать компенсатор в требуемый размер  $K_i = A_{\Sigma i} - \varepsilon$ , принятый методом пригонки на вертикально-фрезерном или плоскошлифовальном станке с помощью учебного мастера в условиях учебно-механических мастерских БрГТУ.

4.23 Выполнить окончательную сборку соответствующего экземпляра сборочной единицы с пригнанным компенсатором. С помощью набора щупов измерительных №1 ТУ2-034-225-87 измерить полученное значение замыкающего звена  $A_{\Delta}$  и дать заключение о годности собранного изделия.

4.24 Составить отчет о лабораторной работе, содержащий: наименование работы; цель работы; краткое описание приборов и принадлежностей; описания и обоснования действий, схем, таблиц, расчетов в соответствии с пунктами 4.1...4.23; выводы о соот-

ветствии результатов, полученных теоретическими расчетами и опытным путем, и о приобретенных навыках достижения точности сборки методом пригонки.

## 5 Контрольные вопросы

- 5.1 Сущность метода пригонки, его преимущества и недостатки.
- 5.2 Требования к компенсатору.
- 5.3 Область рационального использования метода пригонки.
- 5.4 Цель размерного анализа при методе пригонки.
- 5.5 Определение номинала и предельных значений суммарного составляющего звена по номиналам и предельным значениям составляющих звеньев.
- 5.6 Измерение значений суммарных составляющих звеньев для выданной партии сборочных единиц.
- 5.7 Принципы построения рациональных схем компенсации допуска суммарного составляющего звена при уменьшающем компенсаторе.
- 5.8 Принципы построения рациональных схем компенсации допуска суммарного составляющего звена при увеличивающем компенсаторе.
- 5.9 Назначение предварительной сборки изделий при достижении точности замыкающего звена методом пригонки.
- 5.10 Условие достижения точности замыкающего звена при методе пригонки.
- 5.11 Определение погрешностей выполнения сборочных работ при методе пригонки.
- 5.12 Определение значения эталона замыкающего звена при использовании уменьшающего компенсатора.
- 5.13 Определение значения эталона замыкающего звена при использовании увеличивающего компенсатора.
- 5.14 Определение требуемого значения пригнанного компенсатора для конкретного экземпляра сборочной единицы.
- 5.15 Определение предельных значений уменьшающего компенсатора.
- 5.16 Определение предельных значений увеличивающего компенсатора.
- 5.17 Определение максимального припуска на пригонку компенсатора.
- 5.20 Определение запаса допуска замыкающего звена.
- 5.21 Определение доли изделий, не требующих пригонки первоначально изготовленного компенсатора.

## Список используемых источников

1. Допуски и посадки: справочник: в 2ч. / М. А. Палей [и др.]. – 8-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Политехника, 2001. – Ч. 2. – 608 с.
2. Маталин, А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
3. Солонин, И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И. С. Солонин, С. И. Солонин. – М. : Машиностроение, 1980. – 110 с.
4. Справочник контролера машиностроительного завода / под ред. А.И. Якушева. – М. : Машиностроение, 1980. – 527 с.
5. Никифоров, А. Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебное пособие для вузов / А. Д. Никифоров. – 4-ое изд. – М.: Высшая школа, 2007. – 295 с.
6. Евстигнеев, Н. А. Технические измерения в машиностроении: учебное пособие / Н. А. Евстигнеев. – М. : Academia, 2007. – 67 с.
7. Технология машиностроения: учебник для машиностроительных специальностей вузов / Гусев А. А. [и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с.
8. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении: справочник: в 2 т. – М. : Издательство стандартов, 1989. – Т. 2 : Контроль деталей. – 208 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / под ред. А. М. Дальского [и др.]. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2001.
10. Технология машиностроения. Курсовое проектирование: учеб. пособие / М. М. Кане [и др.]; под ред. М. М. Кане, В. К. Шелега. – Минск : Выш. шк., 2013. – 311 с.

Приложение

Таблица 1 – Допуски линейных размеров до 500 мм по ГОСТ 25346-82

Интервалы размеров, Мм	Квалитеты													
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Допуски, мкм													
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	-
Св 3 до 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	-
Св 6 до 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	-
Св 10 до 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
Св 18 до 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
Св 30 до 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
Св 50 до 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
Св 80 до 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
Св 120 до 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
Св 180 до 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
Св 250 до 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
Св 315 до 400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
Св 400 до 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700

Таблица 2 – Точность и качество плоских поверхностей после мехобработки

Метод обработки	Квалитет точности размера от чистовой технологической базы до обработанной поверхности	Степень точности формы	Высота микронеровностей (шероховатости) $R_z$ , мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя $h$ , мкм
Фрезерование: черновое чистовое тонкое	10-12 8-10 7-9	9-11 8-10 6-8	25-50 6,4-12,5 1,6-3,2	50-100 20-50 10-30
Строгание: черновое чистовое	8-10 7-9	8-10 7-9	25-50 6,4-12,5	30-50 20-30
Протягивание черновое чистовое	9-10 7-8	7-8 6-7	3,2-25 0,8-12,5	10-25 5-10
Шлифование: предварительное чистовое тонкое	8-10 7-8 6-7	6-7 5-7 3-5	3,2-6,4 1,6-3,2 0,4-1,6	15-20 5-15 5
Притирка, тонкое шабрение	6	2-4	0,4-1,6	5

Таблица 3 – Предельные погрешности измерения линейных размеров

Измерительное средство	Предельная погрешность измерения, мкм, для диапазона размеров				
	До 10 мм	10...18 мм	18...50 мм	50...80 мм	80...120 мм
Штангенциркули с ценой деления нониуса 0,1 мм	150	150	150	200	200
Штангенциркули с ценой деления нониуса 0,05 мм	100	100	100	100	100
Микрометры гладкие с ценой деления барабана 0,01 мм	5	5	10	10	15
Нутромеры индикаторные с ценой деления 0,01 мм	10	10	10	15	15
Индикаторы часового типа ИЧ-10	15	-	-	-	-
Индикаторы многооборотные 1 МИГ с пределами показаний 0...1 мм	2,5	-	-	-	-
Универсальный измерительный микроскоп УИМ-22	1	1	-	-	-
Щупы измерительные: Набор №1 ТУ2-034-225-87 толщиной 0,02...0,1 мм (через 0,01 мм)	10	-	-	-	-
Щупы измерительные: Набор №4 ТУ2-034-225-87 толщиной 0,1...1 мм (через 0,1 мм)	100	-	-	-	-

Таблица 4 – Значения функции Лапласа  $\Phi(t)$  в зависимости от коэффициента риска  $t$

$T$	$\Phi(t)$	$t$	$\Phi(t)$	$t$	$\Phi(t)$	$t$	$\Phi(t)$
0,00	0,0000	0,31	0,1217	0,72	0,2642	1,80	0,4641
0,01	0,0040	0,32	0,1255	0,74	0,2703	1,85	0,4678
0,02	0,0080	0,33	0,1293	0,76	0,2764	1,90	0,4713
0,03	0,0120	0,34	0,1331	0,78	0,2823	1,95	0,4744
0,04	0,0160	0,35	0,1368	0,80	0,2881	2,00	0,4772
0,05	0,0199	0,36	0,1406	0,82	0,2939	2,10	0,4821
0,06	0,0239	0,37	0,1443	0,84	0,2995	2,20	0,4861
0,07	0,0279	0,38	0,1480	0,86	0,3051	2,30	0,4893
0,08	0,0319	0,39	0,1517	0,88	0,3106	2,40	0,4918
0,09	0,0359	0,40	0,1554	0,90	0,3159	2,50	0,4938
0,10	0,0398	0,41	0,1591	0,92	0,3212	2,60	0,4953
0,11	0,0438	0,42	0,1628	0,94	0,3264	2,70	0,4965
0,12	0,0478	0,43	0,1654	0,96	0,3315	2,80	0,4974
0,13	0,0517	0,44	0,1700	0,98	0,3365	2,90	0,4981
0,14	0,0557	0,45	0,1736	1,00	0,3413	3,00	0,49865
0,15	0,0596	0,46	0,1772	1,05	0,3531	3,20	0,49931
0,16	0,0636	0,47	0,1808	1,10	0,3643	3,40	0,49966
0,17	0,0675	0,48	0,1844	1,15	0,3749	3,60	0,499841
0,18	0,0714	0,49	0,1879	1,20	0,3849	3,80	0,499928
0,19	0,0753	0,50	0,1915	1,25	0,3944	4,00	0,499968
0,20	0,0793	0,52	0,1985	1,30	0,4032	4,50	0,499997
0,21	0,0832	0,54	0,2054	1,35	0,4115	5,00	0,49999997
0,22	0,0871	0,56	0,2123	1,40	0,4192		
0,23	0,0910	0,58	0,2190	1,45	0,4265		
0,24	0,0948	0,60	0,2257	1,50	0,4332		
0,25	0,0987	0,62	0,2324	1,55	0,4394		
0,26	0,1026	0,64	0,2389	1,60	0,4452		
0,27	0,1064	0,66	0,2454	1,65	0,4505		
0,28	0,1103	0,68	0,2517	1,70	0,4554		
0,29	0,1141	0,70	0,2580	1,75	0,4599		
0,30	0,1179						

Учебное издание

**Составитель:**  
*Медведев Олег Анатольевич*

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

*к лабораторной работе*

## **ДОСТИЖЕНИЕ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МАШИН МЕТОДОМ ПРИГОНКИ**

по дисциплине «Технология машиностроения»

*для студентов специальности  
1-36 01 01 «Технология машиностроения»*

Ответственный за выпуск: Медведев О.А.  
Редактор: Боровикова Е.А.  
Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.  
Корректор: Дударук С.В.

---

Подписано в печать 15.01.2020 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага «Performer».  
Гарнитура «Arial Narrow». Усл. печ. л. 1,40. Уч. изд. л. 1,50. Заказ № 1735. Тираж 20 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.