

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СЛУЧАЙНОГО РАССЕИВАНИЯ СРЕДНЕГО ЗАЗОРА И НАТЯГА В СОПРЯЖЕНИЯХ

Действительные размеры годных деталей, изготовленных по одним и тем же чертежам, могут колебаться между заданными предельными размерами, а зазоры и натяги в сопряжениях — в зависимости от случайного рассеивания действительных размеров с отклонением формы реальной поверхности или профиля. Погрешность формы реальной поверхности влияет на вероятностную оценку результатов сортировки деталей, приводит к неопределенности размера максимума материала, случайному рассеиванию среднего зазора и натяга в сопряжениях и, как следствие, к невозможности применения всех поступивших на сборку деталей. Основной результат исследования связан с обеспечением поступления на сборку равного количества деталей, выводом обладающих новизной аналитических зависимостей нахождения количественной оценки неопределенности случайного рассеивания среднего зазора и натяга в сопряжениях, случайного рассеивания среднего размера относительно верхней и нижней приемочных границ. Применение предложенного способа сборки с изначальным уменьшением реальных зазоров и натягов в сопряжениях посредством сужения допусков действительных размеров на допуск формы реальных поверхностей в диаметральном выражении в пределах случайного рассеивания среднего размера относительно верхней и нижней приемочных границ позволяет обеспечить поступление на сборку равного количества деталей, в том числе в проверяемых партиях деталей с разбиением допусков действительных размеров на равное число размерных групп.

Ключевые слова: подбор деталей, сборка, неопределенность среднего размера, неопределенность среднего зазора, неопределенность среднего натяга, размер максимума материала, погрешность формы.

Введение. Годность детали невозможно оценить по одному размеру, так же как из всей совокупности размеров указать на тот, по которому можно проводить количественную и качественную оценку точности изготовления и обработки детали, поскольку для данной цели требуется нахождение наибольшего, наименьшего и среднего размеров. Погрешность формы реальной поверхности позволяет дать наглядное представление о приближении действительных размеров к заданным по чертежу, но не дает суждение о годности детали и расположении всех ее размеров в пределах допуска, поскольку размеры цилиндрической детали в различных сечениях и точках принимают отличные друг от друга значения, а переменность текущего радиуса в заданном сечении задается положением осевой и угловой координат. Неизбежное искажение формы цилиндрических поверхностей деталей в различных сечениях и точках, наличие погрешностей измерений приводит к тому, что детали, у которых размеры находятся близко к предельным отклонениям, могут быть неправильно оценены, то есть забракованы, а бракованные пропущены как годные. Такое сочетание погрешности измерений и истинного размера контролируемой детали является случайным событием, при котором погрешность измерений накладывается на погреш-

ность изготовления детали и с появлением областей вероятностных ошибок первого и второго рода в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_1) и некоторых годных деталей бракованными (β_1), оказывает влияние на вероятностную оценку результатов сортировки деталей, приводит к созданию условий незавершенного производства, когда из-за случайного рассеивания среднего зазора или натяга $Sc(Nc)$ в сопряжениях становится невозможным применение всех поступивших на сборку деталей.

Проблема обеспечения качества сборки по точности геометрических характеристик деталей широко обсуждается исследователями. Среди последних публикаций интерес представляют работы по обеспечению качества технологических процессов сборки деталей [1], в том числе деталей цилиндропоршневой группы [2], точности сборки подшипников качения, как высоконагруженных узлов при их размещении на валу [3], надежности синхронизаторов коробок передач [4], размерной и геометрической точности линейных и координирующих размеров размерных элементов изделий [5, 6], разработки процедур эффективности сборки деталей узлов и механизмов транспортных средств [7].

Постановка задачи. Цель работы заключается в обеспечении точности среднего размера в по-

ступивших на сборку партиях деталей, выявлении количественной оценки неопределенности случайного рассеивания среднего зазора и натяга $Sc(Nc)$ в сопряжениях, случайного рассеивания среднего размера относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{X}_{max}, \bar{X}_{min}$. Задача работы состоит в поступлении на сборку равного количества деталей, в том числе в проверяемых партиях деталей с разбиением допусков действительных размеров на равное число размерных групп.

Материалы и методы. Основной результат исследования базируется на подтвержденном патентом Российской Федерации способе сборки деталей [8] и связан с выводом обладающих новизной аналитических зависимостей (1–6) нахождения количественной оценки неопределенности случайного рассеивания среднего зазора и натяга $Sc(Nc)$ в сопряжениях, случайного рассеивания среднего размера относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{X}_{max}, \bar{X}_{min}$.

В соответствии с международными стандартами ISO 286-1:2010, ISO 286-2:2010 [9, 10] определение предельных размеров, ограничивающих контур действительной поверхности или профиля с позиции применяемых при контроле деталей предельными калибрами размеров максимума и минимума материала соответствует установленным на изготовление изделия размерам, по которым с оценкой влияния допускаемой погрешности измерений (δ) на результат разбраковки производится приемочный контроль годных деталей, либо смещением внутрь установленных допуском размера (IT) приемочных границ на вероятностное предельное значение (c) выхода размера за каждую границу допуска у неправильно принятых бракованных деталей при известной точности технологического процесса $T_{np} = IT - 2c$ или на значение половины допускаемой погрешности измерений $\left(\frac{\delta}{2}\right)$ при неизвестной точности технологического процесса $T_{np} = IT - \delta$. Несмотря на то, что допуски на изготовление проходных калибров вписаны в интервалы допусков действительных размеров, а их граница допустимого износа вынесена за пределы этих допусков, известный способ контроля годности деталей не позволяет обеспечить поступление на сборку равного количества деталей вследствие того, что действительные размеры деталей, признанных год-

ными, могут выходить за пределы производствен-

ного допуска $T_{np} = \begin{cases} D_{EI+c}^{ES-c}, d_{ei+c}^{es-c} \cup D_{EI+\frac{\delta}{2}}^{ES-\frac{\delta}{2}}, d_{ei+\frac{\delta}{2}}^{es-\frac{\delta}{2}}, & \text{но не} \\ D_{EI}^{ES}, d_{ei}^{es} \end{cases}$

должны выходить за пределы арбитражного допу-

ска $T_{apb} = \begin{cases} D_{EI-c}^{ES+c}, d_{ei-c}^{es+c} \\ D_{EI+\frac{\delta}{2}}^{ES+\frac{\delta}{2}}, d_{ei+\frac{\delta}{2}}^{es+\frac{\delta}{2}} \cup D_{EI-\delta}^{ES+\delta}, d_{ei-\delta}^{es+\delta}, & \text{увеличенного на} \end{cases}$

смещение приемочных границ относительно предельных отклонений допуска размера или на значение допускаемой погрешности измерений (δ) при совмещении приемочных границ с предельными размерами, что из-за наличия погрешности измерений, случайного рассеивания действительных размеров с отклонением формы реальной поверхности или профиля оказывает влияние на вероятностную оценку результатов сортировки деталей, приводит к невозможности применения всех поступающих на сборку деталей.

Возникающее вследствие неопределенности размера максимума материала расхождение разностей среднего размера $\Delta\bar{X}_{max} = |\bar{x}_{max} - \bar{x}_0|$, $\Delta\bar{X}_{min} = |\bar{x}_0 - \bar{x}_{min}|$ на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0], [\bar{x}_0, +\varepsilon)$ допусков действительных размеров относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{X}_{max}, \bar{X}_{min}$ в сравнении со средним арифметическим \bar{x}_0 распределенной по закону Гаусса плотности вероятности совокупности средней $p(\mu, \sigma_{\Delta\bar{x}}, \bar{x}_0)$ из композиции однородных выборочных совокупностей $p_1(\mu_1, \sigma_{max}, \bar{x}_{max})$, $p_2(\mu_2, \sigma_{min}, \bar{x}_{min})$ результатов измерений наибольшего и наименьшего размеров размерного элемента с объемом выборок n_1, n_2 в партии деталей N , средних арифметических $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$, распределенных с точностью в ε -окрестности по нормальному закону однородных выборочных совокупностей $p_1(\mu_1, \sigma_{max}, \bar{x}_{max})$, $p_2(\mu_2, \sigma_{min}, \bar{x}_{min})$ результатов измерений наибольшего и наименьшего размеров размерного элемента со средними квадратическими отклонениями $\sigma_{max} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{maxi} - \bar{x}_{max})^2}{\sqrt{n_1}}$, $\sigma_{min} = \frac{\sum_{j=1}^{n_2} (x_{minj} - \bar{x}_{min})^2}{\sqrt{n_2}}$

и совпадающими с приемочными границами $\bar{X}_{max}, \bar{X}_{min}$ результатов измерений наибольшего и наименьшего размеров размерного элемента мгновенными центрами рассеивания $a_{\bar{x}_{max}}, a_{\bar{x}_{min}}$

$$\begin{aligned} P|\Delta\bar{X}_{max} - \Delta\bar{X}_{min}| \geq \varepsilon &= \int_{-\infty}^{\varepsilon - \bar{x}_0} \frac{1}{\sigma_{\Delta\bar{x}} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x - \bar{x}_{min})^2}{2\sigma_{\Delta\bar{x}}^2}} dx + \int_{\bar{x}_0 - \varepsilon}^{\infty} \frac{1}{\sigma_{\Delta\bar{x}} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x - \bar{x}_{max})^2}{2\sigma_{\Delta\bar{x}}^2}} dx = \\ &= 1 - \left(\int_0^{\varepsilon - \bar{x}_0} \frac{1}{\sigma_{\Delta\bar{x}_2} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x - \bar{x}_0 - \bar{x}_{min})^2}{2\sigma_{\Delta\bar{x}_2}^2}} dx + \int_0^{\bar{x}_0 - \varepsilon} \frac{1}{\sigma_{\Delta\bar{x}_1} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x - \bar{x}_0 - \bar{x}_{max})^2}{2\sigma_{\Delta\bar{x}_1}^2}} dx \right) = \\ &= \left(1 - \left(\Phi\left(\frac{\varepsilon - \bar{x}_0}{\sigma_{\Delta\bar{x}_2}}\right) + \Phi\left(\frac{\bar{x}_0 - \varepsilon}{\sigma_{\Delta\bar{x}_1}}\right) \right) \right) \in (-\varepsilon, \bar{x}_0] \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1, \forall n_1, n_2 \in N, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\sigma_{\Delta\bar{x}_i} = \sqrt{\sigma_{\Delta\bar{x}}^2 + \sigma_{max}^2}$ — эмпирическая дисперсия разности $\Delta\bar{x} = \bar{x}_{max} - \bar{x}_{min}$ средних арифметических $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$ однородных выборочных совокупностей $p_1(\mu_1, \sigma_{max}, \bar{x}_{max})$, $p_2(\mu_2, \sigma_{min}, \bar{x}_{min})$ результатов измерений наибольшего и наименьшего размеров размерного элемента с объемом выборок n_1, n_2 в партии деталей N и наблюдаемого расхождения разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{max} = \bar{x}_{max} - \bar{x}_0$ в сравнении со средним арифметическим \bar{x}_{max} однородной вы-

борочной совокупности $p_1(\mu_1, \sigma_{max}, \bar{x}_{max})$ результатов измерений наибольшего размера размерного элемента со средним квадратическим отклонением $\sigma_{max} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{maxi} - \bar{x}_1)^2}{\sqrt{n_1}}$ и совпадающим с верхней

приемочной границей \bar{x}_{max} результатов измерений наибольшего размера размерного элемента мгновенным центром рассеивания $a_{\bar{x}_{max}}$, среднего ариф-

метического \bar{x}_0 распределенной по закону Гаусса плотности вероятности совокупности средней $p(\mu, \sigma_{\Delta\bar{x}}, \bar{x}_0)$ из композиции однородных выборочных совокупностей $p_1(\mu_1, \sigma_{\max}, \bar{x}_{\max})$, $p_2(\mu_2, \sigma_{\min}, \bar{x}_{\min})$ результатов измерений наибольшего и наименьшего размеров размерного элемента с объемом выборок n_1 , n_2 в партии деталей N ;

$\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2} = \sqrt{\sigma_{\Delta\bar{x}}^2 + \sigma_{\min}^2}$ — эмпирическая дисперсия разности $\Delta\bar{x} = \bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min}$ средних арифметических \bar{x}_{\max} , \bar{x}_{\min} однородных выборочных совокупностей $p_1(\mu_1, \sigma_{\max}, \bar{x}_{\max})$, $p_2(\mu_2, \sigma_{\min}, \bar{x}_{\min})$ результатов измерений наибольшего и наименьшего размеров размерного элемента с объемом выборок n_1 , n_2 в партии деталей N и наблюдаемого расхождения разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{\min} = \bar{x}_0 - \bar{x}_{\min}$ в сравнении со средним арифметическим \bar{x}_0 распределенной по закону Гаусса плотности вероятности совокупности средней $p(\mu, \sigma_{\Delta\bar{x}}, \bar{x}_0)$ из композиции однородных выборочных совокупностей $p_1(\mu_1, \sigma_{\max}, \bar{x}_{\max})$, $p_2(\mu_2, \sigma_{\min}, \bar{x}_{\min})$ результатов измерений наибольшего и наименьшего размеров размерного элемента с объемом выборок n_1 , n_2 в партии деталей N , среднего арифметического \bar{x}_{\min} однородной выборочной совокупности $p_2(\mu_2, \sigma_{\min}, \bar{x}_{\min})$ результатов измерений наименьшего размера размерного элемента со средним квадратичным отклонением $\sigma_{\min} = \frac{\sum_{j=1}^{n_2} (x_{\min j} - \bar{x}_2)^2}{\sqrt{N_2}}$ и совпадающим

с нижней приемочной границей \bar{x}_{\min} результатов измерений наименьшего размера размерного элемента мгновенным центром рассеивания $a_{\bar{x}_{\min}}$;

$$\bar{x}_{\max} = \frac{1}{n_1} \cdot \sum_{i=1}^{n_1} x_{\max i}, \quad \bar{x}_{\min} = \frac{1}{n_2} \cdot \sum_{j=1}^{n_2} x_{\min j} \quad \text{— средние}$$

арифметические однородных выборочных совокупностей $p_1(\mu_1, \sigma_{\max}, \bar{x}_{\max})$, $p_2(\mu_2, \sigma_{\min}, \bar{x}_{\min})$ результатов измерений наибольшего и наименьшего размеров размерного элемента с объемом выборок n_1 , n_2 в партии деталей N ;

$$\beta_1 = 0,5 - \Phi\left(\frac{\bar{x}_0 - \varepsilon}{\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1}}\right) \quad \text{— область вероятностной}$$

ошибки второго рода в случае ошибочного принятия некоторых годных деталей бракованными (β_1), возникающая на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0]$, $[\bar{x}_0, +\varepsilon)$ ниже координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров с расхождением разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{\max} = |\bar{x}_{\max} - \bar{x}_0|$ относительно верхней из приемочных границ \bar{x}_{\max} ;

$$\alpha_1 = 0,5 - \Phi\left(\frac{\varepsilon - \bar{x}_0}{\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2}}\right) \quad \text{— область вероятностной}$$

ошибки первого рода в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_1), возникающая на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0]$, $[\bar{x}_0, +\varepsilon)$ выше координаты середины допуска $Ec(IT)$ допусков действительных размеров с расхождением разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{\min} = |\bar{x}_0 - \bar{x}_{\min}|$ относительно нижней из приемочных границ \bar{x}_{\min} .

Из выражения (1) следует, что вероятностная ошибка первого рода в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_1) на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0]$, $[\bar{x}_0, +\varepsilon)$ допусков действительных размеров относительно верхней и нижней приемочных границ \bar{x}_{\max} , \bar{x}_{\min} задает предел одностороннего, выше координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров случайного смещения среднего размера с расхождением разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{\min} = |\bar{x}_0 - \bar{x}_{\min}|$

относительно нижней \bar{x}_{\min} из приемочных границ \bar{x}_{\max} , \bar{x}_{\min} .

Вероятностная ошибка второго рода в случае ошибочного принятия некоторых годных деталей бракованными (β_1) на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0]$, $[\bar{x}_0, +\varepsilon)$ допусков действительных размеров относительно верхней и нижней приемочных границ \bar{x}_{\max} , \bar{x}_{\min} задает предел одностороннего, ниже координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров случайного смещения среднего размера с расхождением разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{\max} = |\bar{x}_{\max} - \bar{x}_0|$ относительно верхней \bar{x}_{\max} из приемочных границ \bar{x}_{\max} , \bar{x}_{\min} .

Расхождение разностей среднего размера $\Delta\bar{x}_{\max} = |\bar{x}_{\max} - \bar{x}_0|$, $\Delta\bar{x}_{\min} = |\bar{x}_0 - \bar{x}_{\min}|$ на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0]$, $[\bar{x}_0, +\varepsilon)$ допусков действительных размеров относительно верхней и нижней приемочных границ \bar{x}_{\max} , \bar{x}_{\min} приводит к появлению областей вероятностных ошибок первого и второго рода в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_1) и некоторых годных деталей бракованными (β_1), пересечению множеств $(-\varepsilon, \bar{x}_0] \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon)$ — однородных выборочных совокупностей

$$p_1(\mu'_1, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1}, \Delta\bar{x}_{\max}) = \frac{1}{\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x - \bar{x}_0 - \bar{x}_{\max})^2}{2\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1}^2}}$$

$$p_2(\mu'_2, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2}, \Delta\bar{x}_{\min}) = \frac{1}{\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x - \bar{x}_0 - \bar{x}_{\min})^2}{2\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2}^2}}$$

с мгновенными центрами рассеивания $a_{\bar{x}_{\max}}$, $a_{\bar{x}_{\min}}$, ограничивающих на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0]$, $[\bar{x}_0, +\varepsilon)$ как выше, так и ниже координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров случайное рассеивание среднего размера в пределах объединения приведенных областей $(-\varepsilon, \bar{x}_0] \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$, появлению кривой распределения совокупности

$$p(\mu', \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}}, \bar{x}_0) = \frac{1}{\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x - \bar{x}_0 - \bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min})^2}{2\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}}^2}}$$

с мгновенным центром рассеивания $\pm a_{\Delta\bar{x}}$, задающим на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0]$, $[\bar{x}_0, +\varepsilon)$ как выше, так и ниже координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров случайное смещение среднего размера в пределах ограниченного пересечением множеств $(-\varepsilon, \bar{x}_0] \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ объединения приведенных областей — в пределах вероятностной ошибки первого рода в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_1) на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0]$, $[\bar{x}_0, +\varepsilon)$ выше координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров с расхождением разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{\min} = |\bar{x}_0 - \bar{x}_{\min}|$ относительно нижней \bar{x}_{\min} из приемочных границ \bar{x}_{\max} , \bar{x}_{\min} и в пределах вероятностной ошибки второго рода в случае ошибочного принятия некоторых годных деталей бракованными (β_1) на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0]$, $[\bar{x}_0, +\varepsilon)$ ниже координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров с расхождением разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{\max} = |\bar{x}_{\max} - \bar{x}_0|$ относительно верхней \bar{x}_{\max} из приемочных границ \bar{x}_{\max} , \bar{x}_{\min} .

Случайное рассеивание среднего размера $\Delta\bar{x}_{\max} = |\bar{x}_{\max} - \bar{x}_0|$, $\Delta\bar{x}_{\min} = |\bar{x}_0 - \bar{x}_{\min}|$ на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0]$, $[\bar{x}_0, +\varepsilon)$ допусков действительных размеров

относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{X}_{\max}, \bar{X}_{\min}$ задается случайным смещением мгновенного центра рассеивания $\pm a_{\Delta\bar{x}}$ распределенной по закону Гаусса плотности вероятности совокупности

$$p(\mu', \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}}, \bar{x}_0) = \frac{1}{\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x - \bar{x}_0 - \bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min})^2}{2 \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}}^2}}$$

в виде замыкающего звена размерной цепи разностью между координатой центра группирования действительного поля рассеивания $EM(\bar{x}_0, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}})$ плотности вероятности совокупности средней $p(\mu', \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}}, \bar{x}_0)$ и координатой середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров

$$\begin{aligned} |EM(\bar{x}_0, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}}) - Ec(IT)| = \\ = \pm a_{\Delta\bar{x}} \in (-\varepsilon, \bar{x}_0] \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1, \end{aligned} \quad (2)$$

где $(-\varepsilon, \bar{x}_0] \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ — пересечение множеств $(-\varepsilon, \bar{x}_0] \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon)$, ограничивающее на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0], [\bar{x}_0, +\varepsilon)$ допусков действительных размеров относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{\max}, \bar{x}_{\min}$ объединение $\alpha_1 \cup \beta_1$ областей вероятностных ошибок первого и второго рода в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_1) и некоторых годных деталей бракованными (β_1).

Расхождение разностей среднего размера $\Delta\bar{x}_{\max} = |\bar{x}_{\max} - \bar{x}_0|, \Delta\bar{x}_{\min} = |\bar{x}_0 - \bar{x}_{\min}|$ на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0], [\bar{x}_0, +\varepsilon)$ допусков действительных размеров относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{\max}, \bar{x}_{\min}$ влияет на достоверность результатов измерений и контроля деталей и с появлением областей вероятностных ошибок первого и второго рода в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_1) и некоторых годных деталей бракованными (β_1) приводит к двустороннему как выше, так и ниже координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных раз-

меров случайному рассеиванию среднего размера в пределах ограниченного пересечением множеств $(-\varepsilon, \bar{x}_0] \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ объединения приведенных областей

$$\begin{aligned} +\varepsilon = \bar{x}_0 + Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2}, -\varepsilon = \\ = \bar{x}_0 - Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $+\varepsilon$ — вычисляемый из аргумента функции Ла-

пласа $\frac{\varepsilon - \bar{x}_0}{\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2}} = Z_{0,5-\alpha_1}$, верхний предел двустороннего

как выше, так и ниже координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров случайного рассеивания среднего размера с расхождением разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{\min} = |\bar{x}_0 - \bar{x}_{\min}|$ относительно нижней \bar{x}_{\min} из приемочных границ $\bar{x}_{\max}, \bar{x}_{\min}$,

$-\varepsilon$ — вычисляемый из аргумента функции Лапласа $\frac{\bar{x}_0 - \varepsilon}{\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1}} = Z_{0,5-\beta_1}$ нижний предел двустороннего

как выше, так и ниже координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров случайного рассеивания среднего размера с расхождением разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{\max} = |\bar{x}_{\max} - \bar{x}_0|$ относительно верхней \bar{x}_{\max} из приемочных границ $\bar{x}_{\max}, \bar{x}_{\min}$.

Расхождение разностей среднего размера

$\Delta\bar{x}_{D\max} = |\bar{x}_{D\max} - \bar{x}_{0D}|, \Delta\bar{x}_{D\min} = |\bar{x}_{0D} - \bar{x}_{D\min}|,$

$\Delta\bar{x}_{d\max} = |\bar{x}_{d\max} - \bar{x}_{0d}|, \Delta\bar{x}_{d\min} = |\bar{x}_{0d} - \bar{x}_{d\min}|$ относи-

тельно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{D\max}, \bar{x}_{D\min}, \bar{x}_{d\max}, \bar{x}_{d\min}$ на интервалах допусков дей-

ствительных размеров отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}], [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$

и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}], [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$ приводит к случай-

ному рассеиванию среднего зазора и натя-

га $Sc(Nc)$ в сопряжениях в пределах ограни-

ченного объединением пересечений множеств

$(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}] \cap [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon) \cup (-\varepsilon, \bar{x}_{0d}] \cap [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon) \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow (\alpha_{1D} \cup \beta_{1D}) \cup (\alpha_{1d} \cup \beta_{1d})$ случайного рассеивания

среднего размера отверстий и валов

$$\begin{aligned} Sc_{\max}^B = D^{\alpha_{1D}} - d_{\beta_{1d}} = (Ec + (EM(\bar{x}_{0D}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1D}}) - Ec)) - (ec - (EM(\bar{x}_{0d}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2d}}) - ec)) = \\ = (Ec - ec) + \sqrt{(EM(\bar{x}_{0D}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1D}}) - Ec)^2 + (EM(\bar{x}_{0d}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2d}}) - ec)^2} = \\ = (Ec - ec) + \sqrt{(Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2D}})^2 + (Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1d}})^2} = (Ec - ec) + \frac{T_{Sc}^B}{2}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sc_{\min}^B = D_{\beta_{1D}} - d^{\alpha_{1d}} = (Ec - (EM(\bar{x}_{0D}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2D}}) - Ec)) - (ec + (EM(\bar{x}_{0d}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1d}}) - ec)) = \\ = (Ec - ec) - \sqrt{(EM(\bar{x}_{0D}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2D}}) - Ec)^2 + (EM(\bar{x}_{0d}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1d}}) - ec)^2} = \\ = (Ec - ec) - \sqrt{(Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1D}})^2 + (Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2d}})^2} = (Ec - ec) - \frac{T_{Sc}^B}{2}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nc_{\max}^B = d^{\alpha_{1d}} - D_{\beta_{1D}} = (ec + (EM(\bar{x}_{0d}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1d}}) - ec)) - (Ec - (EM(\bar{x}_{0D}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2D}}) - Ec)) = \\ = (ec - Ec) + \sqrt{(EM(\bar{x}_{0d}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1d}}) - ec)^2 + (EM(\bar{x}_{0D}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2D}}) - Ec)^2} = \\ = (ec - Ec) + \sqrt{(Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2d}})^2 + (Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1D}})^2} = (ec - Ec) + \frac{T_{Nc}^B}{2}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nc_{\min}^B = d_{\beta_{1d}} - D^{\alpha_{1D}} = (ec - (EM(\bar{x}_{0D}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2d}}) - ec)) - (Ec + (EM(\bar{x}_{0d}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1D}}) - Ec)) = \\ = (ec - Ec) - \sqrt{(EM(\bar{x}_{0D}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2d}}) - ec)^2 + (EM(\bar{x}_{0d}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1D}}) - Ec)^2} = \\ = (ec - Ec) - \sqrt{(Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1d}})^2 + (Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2D}})^2} = (ec - Ec) - \frac{T_{Nc}^B}{2}, \end{aligned}$$

$$T_{Sc}^B(T_{Nc}^B) \in (-\varepsilon, \bar{x}_{0D}] \cap [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon) \cup (-\varepsilon, \bar{x}_{0d}] \cap [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon) \Leftrightarrow (\alpha_{1D} \cup \beta_{1D}) \cup (\alpha_{1d} \cup \beta_{1d}),$$

$$T_{Sc}^B(T_{Nc}^B) = \sqrt{(Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2D}} + Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1D}})^2 + (Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{2d}} + Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_{1d}})^2},$$

$$\begin{aligned}
Sc^B &= D_{\beta_{1D}}^{\alpha_{1D}} - d_{\beta_{1d}}^{\alpha_{1d}} = (Ec - ec) \pm \frac{T_{Sc}^B}{2} = \\
&= (Ec - ec) \pm \sqrt{\left(\frac{Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2D}} + Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1D}}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2d}} + Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1d}}}{2}\right)^2}, \\
Nc^B &= d_{\beta_{1d}}^{\alpha_{1d}} - D_{\beta_{1D}}^{\alpha_{1D}} = (ec - Ec) \pm \frac{T_{Nc}^B}{2} = \\
&= (ec - Ec) \pm \sqrt{\left(\frac{Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2D}} + Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1D}}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2d}} + Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1d}}}{2}\right)^2}, \quad (4)
\end{aligned}$$

где Ec, ec — координаты середины допусков действительных размеров цилиндрического внутренне-го и наружного размерных элементов;

$(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}) \cap [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon) \cup (-\varepsilon, \bar{x}_{0d}) \cap [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$ — объединение пересечений множеств $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}) \cap [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$, $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}) \cap [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$, ограничивающее случайное рассеивание среднего зазора и натяга $Sc(Nc)$ в сопряжениях в пределах объединения $(\alpha_{1D} \cup \beta_{1D}) \cup (\alpha_{1d} \cup \beta_{1d})$ случайного рассеивания среднего размера на интервалах допусков действительных размеров отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}), [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}), [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$;

Sc_{\max}^B — вероятностный средний наибольший зазор, ограничивающий случайное рассеивание среднего зазора (Sc) в сопряжениях в пределах возникающего с расхождением разностей среднего размера $\Delta \bar{x}_{\min D} = |\bar{x}_{0D} - \bar{x}_{\min D}|$, $\Delta \bar{x}_{\max D} = |\bar{x}_{\max D} - \bar{x}_{0D}|$ на интервалах допусков действительных размеров отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}), [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}), [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$ объединения $\alpha_{1D} \cup \beta_{1d}$ областей вероятностных ошибок первого рода для отверстий и второго рода для валов в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_{1D}) и некоторых годных деталей бракованными (β_{1d});

Sc_{\min}^B — вероятностный средний наименьший зазор, ограничивающий случайное рассеивание среднего зазора (Sc) в сопряжениях в пределах возникающего с расхождением разностей среднего размера $\Delta \bar{x}_{\max D} = |\bar{x}_{\max D} - \bar{x}_{0D}|$, $\Delta \bar{x}_{\min D} = |\bar{x}_{0d} - \bar{x}_{\min D}|$ на интервалах допусков действительных размеров отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}), [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}), [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$ объединения $\beta_{1D} \cup \alpha_{1d}$ областей вероятностных ошибок первого рода для валов и второго рода для отверстий и в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_{1d}) и некоторых годных деталей бракованными (β_{1D});

Nc_{\max}^B — вероятностный средний наибольший натяг, ограничивающий случайное рассеивание среднего натяга (Nc) в сопряжениях в пределах возникающего с расхождением разностей средне-

го размера $\Delta \bar{x}_{\max D} = |\bar{x}_{\max D} - \bar{x}_{0D}|$, $\Delta \bar{x}_{\min D} = |\bar{x}_{0d} - \bar{x}_{\min D}|$, на интервалах допусков действительных размеров отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}), [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}), [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$ объединения $\alpha_{1d} \cup \beta_{1D}$ областей вероятностных ошибок первого рода для валов и второго рода для отверстий в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_{1d}) и некоторых годных деталей бракованными (β_{1D});

Nc_{\min}^B — вероятностный средний наименьший натяг, ограничивающий случайное рассеивание среднего натяга (Nc) в сопряжениях в пределах возникающего с расхождением разностей среднего размера $\Delta \bar{x}_{\min D} = |\bar{x}_{0D} - \bar{x}_{\min D}|$, $\Delta \bar{x}_{\max D} = |\bar{x}_{\max D} - \bar{x}_{0d}|$ на интервалах допусков действительных размеров отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}), [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}), [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$ объединения $\beta_{1d} \cup \alpha_{1D}$ областей вероятностных ошибок первого рода для отверстий и второго рода для валов в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_{1D}) и некоторых годных деталей бракованными (β_{1d});

$T_{Sc}^B(T_{Nc}^B)$ — вероятностный допуск случайного рассеивания среднего зазора и натяга $Sc(Nc)$ в сопряжениях, ограниченный объединением пересечений множеств $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}) \cap [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon) \cup (-\varepsilon, \bar{x}_{0d}) \cap [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon) \Leftrightarrow (\alpha_{1D} \cup \beta_{1D}) \cup (\alpha_{1d} \cup \beta_{1d})$ случайного рассеивания среднего размера на интервалах допусков действительных размеров отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}), [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}), [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$.

Вероятностный допуск случайного рассеивания среднего зазора и натяга в сопряжениях $T_{Sc}^B(T_{Nc}^B)$ вычисляется алгебраической разностью вероятностных средних зазоров и натягов в сопряжениях или среднеквадратическим сложением алгебраической разности пределов двустороннего как выше, так и ниже координаты середины допуска (Ec, ec) действительных размеров случайного рассеивания среднего размера отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}), [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}), [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$.

$$\begin{aligned}
T_{Sc}^B &= Sc_{\max}^B - Sc_{\min}^B = \sqrt{\left(Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2D}} + Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1D}}\right)^2 + \left(Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2d}} + Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1d}}\right)^2}, \\
T_{Nc}^B &= Nc_{\max}^B - Nc_{\min}^B = \sqrt{\left(Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2D}} + Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1D}}\right)^2 + \left(Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2d}} + Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1d}}\right)^2}, \\
T_{Sc}^B(T_{Nc}^B) &= \sqrt{\left(+\varepsilon_D - (-\varepsilon_D)\right)^2 + \left(+\varepsilon_d - (-\varepsilon_d)\right)^2} = \\
&= \sqrt{\left(Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2D}} + Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1D}}\right)^2 + \left(Z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2d}} + Z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1d}}\right)^2}, \quad (5)
\end{aligned}$$

где $+\varepsilon_D, -\varepsilon_D, +\varepsilon_d, -\varepsilon_d$ — пределы двустороннего как выше, так и ниже координаты середины допуска (Ec, ec) действительных размеров случайного рассеивания среднего размера отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}), [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}), [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$.

Случайное рассеивание среднего зазора и натяга $Sc(Nc)$ в сопряжениях ограничено случайным рассеиванием среднего размера отверстий $\pm a_{\Delta \bar{x}D}$ и валов $\pm a_{\Delta \bar{x}d}$, задаваемых на интервалах допусков действительных размеров соответственно отверстий

$(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}], [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}], [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$ в виде замыкающего звена размерной цепи разностью между координатой центра группирования действительного поля рассеивания $EM(\bar{x}_{0D}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}D}), EM(\bar{x}_{0d}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}d})$ плотности вероятности совокупности средней $p_D(\mu', \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}D}, \bar{x}_{0D}), p_d(\mu', \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}d}, \bar{x}_{0d})$ и координатой середины допуска (Ec, ec) действительных размеров

$$|EM(\bar{x}_{0D}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}D}) - Ec| = \pm a_{\Delta\bar{x}D} \in (-\varepsilon, \bar{x}_{0D}] \cap [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_{1D} \cup \beta_{1D},$$

$$|EM(\bar{x}_{0d}, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}d}) - ec| = \pm a_{\Delta\bar{x}d} \in (-\varepsilon, \bar{x}_{0d}] \cap [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_{1d} \cup \beta_{1d}. \quad (6)$$

Графическое представление двустороннего на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0], [\bar{x}_0, +\varepsilon)$ как выше, так и ниже координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров случайного рассеивания среднего размера относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$ приведено на рис. 1.

Графическое представление случайного рассеивания среднего зазора и натяга $Sc(Nc)$ в сопряжениях в пределах объединения $(\alpha_{1D} \cup \beta_{1D}) \cup (\alpha_{1d} \cup \beta_{1d})$ случайного рассеивания среднего размера на интервалах допусков действительных размеров отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}], [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}], [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$ приведено на рис. 2.

Реальная форма геометрических элементов детали делает размерный элемент переменным, ограниченным двумя значениями — наибольшим и наименьшим. Ограниченные допуском размера отклонения формы реальной поверхности (ЕСЕ) отсчитываются от базовой поверхности формы и в зависимости от вида поверхности оцениваются комплексными и элементными параметрами геометрической точности формы, уменьшая допуски действительных размеров на допуск формы реальных поверхностей, ограничивающий в диаметральном выражении $TCED = T_\phi D(2\Delta_\phi D), TCEd = T_\phi d(2\Delta_\phi d)$, отклонения формы, запас износа материала в пределах случайного рассеивания среднего размера $(-\varepsilon, \bar{x}_0] \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$ так, что за наибольший предельно допустимый размер вала d_{Amax} принимается диаметр описанного прилегающего цилиндра вращения наименьшего возможного

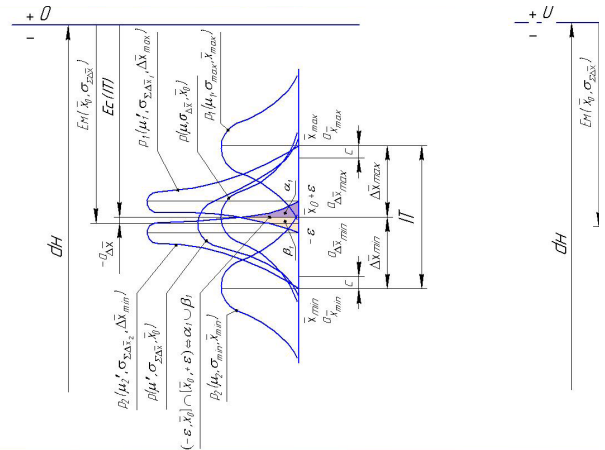


Рис. 1. Графическое представление двустороннего на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0], [\bar{x}_0, +\varepsilon)$ как выше, так и ниже координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров случайного рассеивания среднего размера относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$

радиуса, который бы касался наиболее выступающих точек реальной наружной цилиндрической поверхности вращения и был не больше предела максимума материала $d_{Amax} \leq d_{MMR}, d_{MMR} \geq d_{min} + 2\Delta_\phi d$ и верхнего предельного размера вала $d_{Amax} \leq d_{max}$, а наименьший действительный размер вала d_{Amin} оценивается отклонениями формы, ограниченными допуском формы реальной наружной цилиндрической поверхности вращения $d_{Amin} = d_{Amax} - 2\Delta_\phi d$, принимая за наименьший предельно допустимый размер вала d_{Amin} размер, измеренный по двухконтактной схеме универсальным средством измерений, который должен быть не меньше предела минимума материала $d_{Amin} \geq d_{LMR}$ или нижнего предельного размера вала $d_{Amin} \geq d_{min}$.

За наименьший предельно допустимый размер отверстия D_{Amin} принимается диаметр вписанного прилегающего цилиндра вращения наибольшего возможного радиуса, который бы касался наиболее выступающих точек реальной внутренней цилиндрической поверхности вращения и был

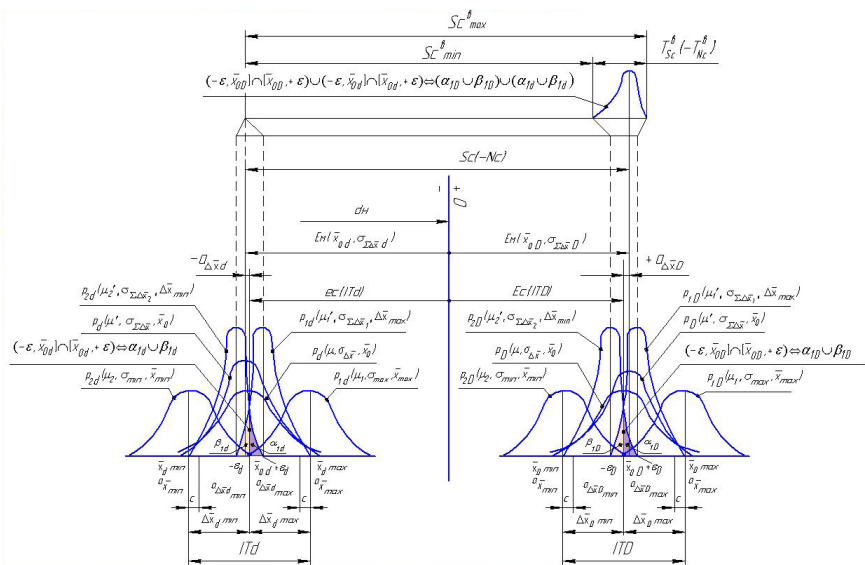


Рис. 2. Графическое представление случайного рассеивания среднего зазора и натяга $Sc(Nc)$ в сопряжениях в пределах объединения $(\alpha_{1D} \cup \beta_{1D}) \cup (\alpha_{1d} \cup \beta_{1d})$ случайного рассеивания среднего размера на интервалах допусков действительных размеров отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}], [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}], [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$

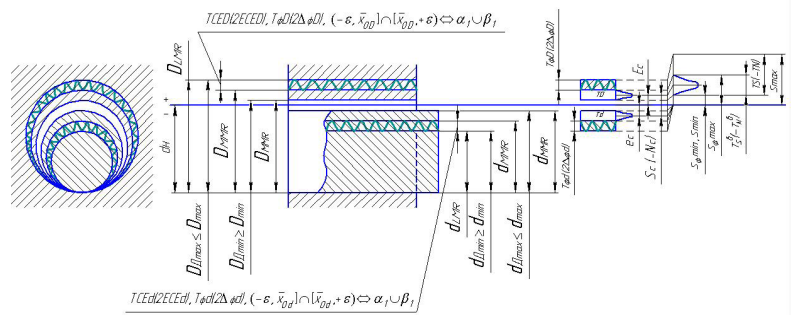


Рис. 3. Схема уменьшения реальных зазоров и натягов $Sc(Nc)$ в сопряжениях посредством сужения допусков действительных размеров на допуск формы реальных поверхностей в диаметральном выражении $TCED = T_\phi D(2\Delta_\phi D)$, $TCEd = T_\phi d(2\Delta_\phi d)$ в пределах случайного рассеивания среднего размера $(-\varepsilon, \bar{x}_0) \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$

не меньше предела максимума материала $D_{Amin} \geq D_{MMR}$, $D_{MMR} \leq D_{max} - 2\Delta_\phi d$ и нижнего предельного размера отверстия $D_{Amax} \geq D_{min}$, а наибольший действительный размер отверстия D_{Amax} оценивается отклонениями формы, ограниченными допуском формы реальной внутренней цилиндрической поверхности вращения $D_{Amax} = D_{Amin} + 2\Delta_\phi D$, принимая за наибольший предельно допустимый размер отверстия D_{Amax} размер, измеренный по двухконтактной схеме универсальным средством измерений, который должен быть не больше предела минимума материала $D_{Amax} \leq D_{LMR}$ или верхнего предельного размера отверстия $D_{Amax} \leq D_{max}$.

Средний размер, как систематическая составляющая измеряемой величины, определяет положение координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров, от которой в симметричном отношении задается случайное рассеивание действительных размеров с отклонением формы реальной поверхности или профиля, исходя из подчиненности нормальному закону случайного рассеивания размеров. При алгебраическом суммировании систематических составляющих величин и среднеквадратически — случайных, поступление на сборку равного количества деталей, в том числе в проверяемых партиях деталей с разбиением допусков действительных размеров на равное число размерных групп, достигается уменьшением допусков действительных размеров на допуск формы реальных поверхностей в диаметральном выражении $TCED = T_\phi D(2\Delta_\phi D)$, $TCEd = T_\phi d(2\Delta_\phi d)$ в пределах случайного рассеивания среднего размера $(-\varepsilon, \bar{x}_0) \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$ так, что для цилиндрического внутреннего элемента уменьшенный допуск действительных размеров задается алгебраической разностью между размером максимума материала D_{MMR} и нижним предельным размером отверстия D_{min} , $TD = D_{MMR} - D_{min}$, а для цилиндрического наружного элемента — алгебраической разностью между верхним предельным размером вала d_{max} и размером максимума материала d_{MMR} , $Td = d_{max} - d_{MMR}$.

С уменьшением реальных зазоров и натягов в сопряжениях посредством сужения допусков действительных размеров на допуск формы реальных поверхностей в диаметральном выражении $TCED = T_\phi D(2\Delta_\phi D)$, $TCEd = T_\phi d(2\Delta_\phi d)$ в пределах случайного рассеивания среднего размера $(-\varepsilon, \bar{x}_0) \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$ исклю-

чается случайное рассеивание среднего зазора и натяга $Sc(Nc)$ в сопряжениях, смещение центра группирования $Em(\bar{x}_0, \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}})$ допусков действительных размеров относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$, а с разбиением допусков действительных размеров на равное число размерных групп исключаются смещения центров группирования $Em_k(\bar{x}_{ok}, \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_k})$ допусков промежуточных и крайних размерных групп по отношению к середине допуска $Ec(IT)$ действительных размеров, что позволяет обеспечить постоянство групповых зазоров и натягов в сопряжениях при переходе от одной размерной группы к другой, поступление на сборку равного количества деталей, в том числе в проверяемых партиях деталей с разбиением допусков действительных размеров на равное число размерных групп.

Годность деталей с уменьшением допусков действительных размеров на допуск формы реальных поверхностей в диаметральном выражении $TCED = T_\phi D(2\Delta_\phi D)$, $TCEd = T_\phi d(2\Delta_\phi d)$ в пределах случайного рассеивания среднего размера $(-\varepsilon, \bar{x}_0) \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$ необходимо проводить нахождением применительно для каждой детали наибольшего и наименьшего размера при их дальнейшем рассмотрении как размеров максимума материала при контроле с применением проходных калибров верхней и нижней приемочных границ.

Схема уменьшения реальных зазоров и натягов $Sc(Nc)$ в сопряжениях посредством сужения допусков действительных размеров на допуск формы реальных поверхностей в диаметральном выражении $TCED = T_\phi D(2\Delta_\phi D)$, $TCEd = T_\phi d(2\Delta_\phi d)$ в пределах случайного рассеивания среднего размера $(-\varepsilon, \bar{x}_0) \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$ приведена на рис. 3.

Результаты. Нахождение вероятностных ошибок первого и второго рода в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_1) и некоторых годных, деталей бракованными (β_1) проведено по гипергеометрическому закону с вероятностью, что в выборках $n_1 = n_2 = 8$ в партии деталей $N = 16$, из которых D_x признаны дефектными, принятых в число годных, окажется s дефектных изделий с экспериментальным исследованием размеров максимума и минимума материала в отношении аксиальной высоты компрессионных поршне-

вых колец $b_1 = b_2 = (2,5 - 0,012)$ мм, высоты первой и второй поршневых канавок $B_1 = (2,5^{+0,070}_{+0,050})$ мм, $B_2 = (2,5^{+0,055}_{+0,035})$ мм [11], применяемых в конструкциях бензиновых двигателей ЗМЗ-513.10, ЗМЗ-5234.10 с номинальным диаметром рабочей поверхности в рабочем состоянии $\varnothing 92$ мм в комплекте с маслосъемным кольцом в качестве трехкольцевого лабиринтного дифференциального уплотнения плавающего типа для предотвращения прорывов газов в картер во время такта сжатия и расширения, герметизации надпоршневого пространства, максимально возможного использования тепловой энергии топлива, отвода от поршня избыточной доли теплоты при контакте рабочей поверхности колец с охлаждаемыми стенками цилиндра

$$P(N, n) = \frac{C_{D_x}^s \cdot C_{N-D_x}^{n-s}}{C_N^n},$$

где C_i^j — число сочетаний из $i = D_x, N - D_x, N$ элементов по $j = s, n - s, n$ элементов.

Вероятность принятия s дефектных изделий при измерительном контроле партии изделий N с приемочным числом C_0 , приемочным и браковочным уровнями дефектности q_0, q_n , с числом $D_x \leq C_0$ дефектных изделий

$$P(q, C_0, N) = P\left(D_x \leq \frac{C_0}{q_0}\right) = \sum_{s=0}^{s=C_0} \left(D_x = \frac{s}{q_n}\right) = \sum_{s=0}^{s=C_0} \frac{C_{D_x}^s \cdot C_{N-D_x}^{n-s}}{C_N^n}.$$

Выявление вероятностных ошибок первого и второго рода в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_1) и некоторых годных деталей бракованными (β_1) при проведении с применением микрометра рычажного МР 25 по ГОСТ 4381-81 измерительного контроля размеров максимума и минимума материала аксиальной высоты верхнего компрессионного поршневого кольца $b_1 = (2,5 - 0,012)$ мм с объемом выборок $n_1 = n_2 = 8$ в партии колец $N = 16$, с приемочным числом $C_0 = 3$, приемочным и браковочным уровнями дефектности $q_0 = 0,15, q_n = 0,25$

$$\alpha_1 = 1 - P(q, C_0, N) = 1 - \sum_{s=0}^{s=C_0} \frac{C_{D_x}^s \cdot C_{N-D_x}^{n-s}}{C_N^n} = 1 - \frac{(C_5^0 \cdot C_{11}^8 + C_5^1 \cdot C_{11}^7 + C_5^2 \cdot C_{11}^6 + C_5^3 \cdot C_{11}^5 + C_5^4 \cdot C_{11}^4 + C_5^5 \cdot C_{11}^3)}{C_{16}^8} = 24 \% ,$$

$$\beta_1 = 1 - P(q, C_0, N) = 1 - \sum_{s=0}^{s=C_0} \frac{C_{D_x}^s \cdot C_{N-D_x}^{n-s}}{C_N^n} = 1 - \frac{(C_4^0 \cdot C_{12}^8 + C_4^1 \cdot C_{12}^7 + C_4^2 \cdot C_{12}^6 + C_4^3 \cdot C_{12}^5 + C_4^4 \cdot C_{12}^4 + C_4^4 \cdot C_{12}^3)}{C_{16}^8} = 31 \% .$$

приводит к двустороннему, как выше, так и ниже координаты середины допуска $Ec(Tb)$ действительных размеров случайному рассеиванию среднего размера высоты верхней поршневой канавки в партии поршней $N = 16$

$$+ \varepsilon_D = \bar{X}_0 + z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{X}_2} = 2,560 + 0,002 = 2,562 \text{ мм},$$

$$- \varepsilon_D = \bar{X}_0 - z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{X}_1} = 2,560 - 0,002 = 2,558 \text{ мм},$$

где $+ \varepsilon_D = \bar{X}_0 + z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{X}_2}, - \varepsilon_D = \bar{X}_0 - z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{X}_1}$ — вычисляемые из аргумента функции Лапласа

$$\alpha_1 = 1 - P(q, C_0, N) = 1 - \sum_{s=0}^{s=C_0} \frac{C_{D_x}^s \cdot C_{N-D_x}^{n-s}}{C_N^n} = 1 - \frac{(C_4^0 \cdot C_{12}^8 + C_4^1 \cdot C_{12}^7 + C_4^2 \cdot C_{12}^6 + C_4^3 \cdot C_{12}^5)}{C_{16}^8} = 12 \% ,$$

$$\beta_1 = 1 - P(q, C_0, N) = 1 - \sum_{s=0}^{s=C_0} \frac{C_{D_x}^s \cdot C_{N-D_x}^{n-s}}{C_N^n} = 1 - \frac{(C_2^0 \cdot C_{14}^8 + C_2^1 \cdot C_{14}^7 + C_2^2 \cdot C_{14}^6 + C_2^3 \cdot C_{14}^5)}{C_{16}^8} = 5 \% .$$

приводит к двустороннему, как выше, так и ниже координаты середины допуска $Ec(Tb)$ действительных размеров случайному рассеиванию среднего размера аксиальной высоты исследуемых в партии верхних компрессионных поршневых колец

$$+ \varepsilon_d = \bar{X}_0 + z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{X}_2} = 2,494 + 0,001 = 2,495 \text{ мм},$$

$$- \varepsilon_d = \bar{X}_0 - z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{X}_1} = 2,494 - 0,001 = 2,493 \text{ мм},$$

где $+ \varepsilon_d = \bar{X}_0 + z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{X}_2}, - \varepsilon_d = \bar{X}_0 - z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{X}_1}$ — вычисляемые из аргумента функции Лапласа

$\frac{\varepsilon_d - \bar{X}_0}{\sigma_{\Sigma \Delta \bar{X}_2}} = z_{0,5-\alpha_1}, \frac{\bar{X}_0 - \varepsilon_d}{\sigma_{\Sigma \Delta \bar{X}_1}} = z_{0,5-\beta_1}$ пределы двустороннего, как выше, так и ниже координаты середины допуска $Ec(Tb)$ действительных размеров случайного рассеивания среднего размера аксиальной высоты исследуемых в партии верхних компрессионных поршневых колец.

Выявление вероятностных ошибок первого и второго рода в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_1) и некоторых годных деталей бракованными (β_1) при проведении с применением нутромера Н102 с диапазоном показаний (2,4...12,8) мм фирмы Кюерлин измерительного контроля размеров максимума и минимума материала высоты верхней поршневой канавки $B_1 = (2,5^{+0,070}_{+0,050})$ мм с объемом выборок $n_1 = n_2 = 8$ в партии поршней $N = 16$, с приемочным числом $C_0 = 5$, приемочным и браковочным уровнями дефектности $q_0 = 0,25, q_n = 0,31$

$\frac{\varepsilon_D - \bar{X}_0}{\sigma_{\Sigma \Delta \bar{X}_2}} = z_{0,5-\alpha_1}, \frac{\bar{X}_0 - \varepsilon_D}{\sigma_{\Sigma \Delta \bar{X}_1}} = z_{0,5-\beta_1}$ пределы двустороннего, как выше, так и ниже координаты середины допуска $Ec(Tb)$ действительных размеров случайного рассеивания среднего размера высоты верхней поршневой канавки в партии поршней $N = 16$.

Вероятностные средние наибольший и наименьший зазоры $S_{c_{\max}}^B, S_{c_{\min}}^B$ вероятностный допуск случайного рассеивания среднего зазора T_{sc}^B в сопряжении

$$Sc_{\max}^B = D^{\alpha_{1D}} - d_{\beta_{1d}} =$$

$$(Ec - ec) + \sqrt{\left(z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2D}} \right)^2 + \left(z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1d}} \right)^2} = 0,068 \text{ мм},$$

$$Sc_{\min}^B = D_{\beta_{1D}} - d^{\alpha_{1d}} =$$

$$(Ec - ec) - \sqrt{\left(z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1D}} \right)^2 + \left(z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2d}} \right)^2} = 0,064 \text{ мм},$$

$$T_{Sc}^B = Sc_{\max} - Sc_{\min} =$$

$$= \sqrt{\left(z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2D}} + z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1D}} \right)^2 + \left(z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{2d}} + z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_{1d}} \right)^2} = 0,004 \text{ мм}$$

приводят к невозможности применения 56 % поступивших на сборку деталей при сборке партий из шестнадцати поршней и шестнадцати верхних компрессионных поршневых колец, из которых шесть верхних компрессионных поршневых колец оказались неуккомплектованными из-за выбраковки поршневой канавки у девяти поршней и по аксиальной высоте трех верхних компрессионных поршневых колец.

Для обеспечения поступления на сборку равного количества деталей экспериментальное исследование размеров максимума и минимума материала проводилось с применением подтвержденного патентом Российской Федерации способа сборки [8] относительно уменьшенных на допуск формы реальных поверхностей в диаметральном выражении $TCEd = T_{\phi}d(2\Delta_{\phi}d)$, $TCED = T_{\phi}D(2\Delta_{\phi}D)$ в пределах случайного рассеивания среднего размера $(-\varepsilon, \bar{x}_0) \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{\max}, \bar{x}_{\min}$ нормированных в соответствии с международными стандартами ISO 286-1:2010, ISO 286-2:2010 [9, 10] допусков действительных размеров на аксиальную высоту второго компрессионного поршневого кольца $b_2 = 2,5h7_{(-0,010)}$ мм с объемом выборок $n_1 = n_2 = 8$ в партии колец $N = 16$ и высоте второй поршневой канавки $B_2 = 2,5CD8_{(+0,034)}^{(+0,048)}$ мм с объемом выборок $n_1 = n_2 = 8$ в партии поршней $N = 16$.

Измерительный контроль размеров максимума и минимума материала аксиальной высоты второго компрессионного поршневого кольца с объемом выборок $n_1 = n_2 = 8$ в партии колец $N = 16$ проводился относительно уменьшенного до нормированного по ближайшему качеству производственного допуска $T_{np} = 0,010$ мм посредством смещения внутрь нижней \bar{x}_{\min} из приемочных границ $\bar{x}_{\max}, \bar{x}_{\min}$ в пределах двустороннего, как выше, так и ниже координаты середины $Ec(Tb)$ допуска действительных размеров случайного рассеивания среднего размера аксиальной высоты второго компрессионного поршневого кольца в партии колец $N = 16$ $(\bar{x}_0 + z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_2}) - (\bar{x}_0 - z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_1}) = z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_2} + z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_1} = 0,002$ мм, соответствующего удвоенному вероятностному предельному значению $2c = 0,002$ мм выхода размера за каждую границу допуска у неправильно принятых бракованных деталей, установленного по ГОСТ 8.051-81 [12] для браковочного уровня дефектности $q_n = 0,05$.

Измерительный контроль размеров максимума и минимума материала высоты второй поршневой канавки с объемом выборок $n_1 = n_2 = 8$ в партии поршней $N = 16$ проводился относи-

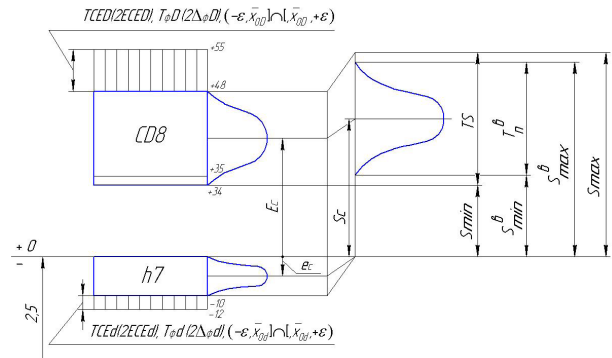


Рис. 4. Геометрические характеристики заменяющей внесистемной комбинированной посадки в системе вала

$2,5 \frac{CD8_{(+0,048)}^{(+0,034)}}{h7_{(-0,010)}}$ на сопряжение поршня с вторым компрессионным поршневым кольцом с наименьшим расхождением по наибольшему зазору $\varphi_{S_{\max}} = -13\%$ в конструкциях бензиновых двигателей ЗМЗ-513.10, ЗМЗ-5234.10

тельно уменьшенного до нормированного по ближайшему качеству производственного допуска $T_{np} = 0,014$ мм посредством смещения внутрь верхней \bar{x}_{\max} из приемочных границ $\bar{x}_{\max}, \bar{x}_{\min}$ в пределах двустороннего, как выше, так и ниже координаты середины $Ec(TB)$ допуска действительных размеров случайного рассеивания среднего размера высоты второй поршневой канавки в партии поршней $N = 16$ $(\bar{x}_0 + z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_2}) - (\bar{x}_0 - z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_1}) = z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_2} + z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma \Delta \bar{x}_1} = 0,004$ мм, соответствующего удвоенному вероятностному предельному значению $2c = 0,004$ мм выхода размера за каждую границу допуска у неправильно принятых бракованных деталей, установленного по ГОСТ 8.051-81 для браковочного уровня дефектности $q_n = 0,03$.

Экспериментальное исследование размеров максимума и минимума материала относительно уменьшенных допусков действительных размеров на аксиальную высоту второго компрессионного поршневого кольца $b_2 = 2,5h7_{(-0,010)}$ мм и высоту второй поршневой канавки $B_2 = 2,5CD8_{(+0,034)}^{(+0,048)}$ мм при сборке партий из шестнадцати поршней и шестнадцати вторых компрессионных поршневых колец привело к укомплектованности на 94 % поступивших на сборку деталей с выбраковкой поршневой канавки одного из поршней и по аксиальной высоте одного из партии вторых компрессионных поршневых колец. Графическое представление геометрических характеристик заменяющей внесистемной комбинированной посадки в системе вала

$2,5 \frac{CD8_{(+0,048)}^{(+0,034)}}{h7_{(-0,010)}}$ на сопряжение поршня со вторым компрессионным поршневым кольцом с наименьшим расхождением по наибольшему зазору $\varphi_{S_{\max}} = -13\%$ в конструкциях бензиновых двигателей ЗМЗ-513.10, ЗМЗ-5234.10 представлено на рис. 4.

Обсуждение и заключение. Результаты исследования могут быть использованы для нахождения количественной оценки неопределенности случайного рассеивания среднего зазора и натяга $Sc(Nc)$ в сопряжениях, случайного рассеивания среднего размера относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{\max}, \bar{x}_{\min}$, корректирования параметров технологического процесса сборки деталей, исключения случайного рассеивания среднего зазора и натяга $Sc(Nc)$ в сопряжениях, смеще-

ния центра группирования $Em(\bar{x}_0, \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}})$ допусков действительных размеров относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$, поступления на сборку равного количества деталей, в том числе в проверяемых партиях деталей с разбиением допусков действительных размеров на равное число размерных групп, например, при сборке таких деталей, как гильзы цилиндров, поршней, поршневых пальцев, подшипниковой втулки, размещенной в верхней головке шатунов, коренных и шатунных шеек коленчатого вала и их вкладышей, цилиндров гидровакуумного усилителя, клапана управления и их поршней, балки передней оси и шкворня поворотной цапфы, главного тормозного цилиндра и его поршня, втулки картера рулевого механизма и вала рулевой сошки, шипов крестовины, подшипниковой втулки сателлитов и чашек коробки дифференциала, тел качения при их установке в подшипниках качения.

Результаты исследования основаны на следующих выводах.

Вероятностная ошибка первого рода в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_1) на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0) \cup [\bar{x}_0, +\varepsilon)$ допусков действительных размеров относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$ задает предел одностороннего, выше координаты середины $Ec(IT)$ допуска действительных размеров случайного смещения среднего размера с расхождением разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{min} = |\bar{x}_0 - \bar{x}_{min}|$ относительно нижней \bar{x}_{min} из приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$.

Вероятностная ошибка второго рода в случае ошибочного принятия некоторых годных деталей бракованными (β_1) на интервалах $(-\varepsilon, \bar{x}_0) \cup [\bar{x}_0, +\varepsilon)$ допусков действительных размеров относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$ задает предел одностороннего, ниже координаты середины $Ec(IT)$ допуска действительных размеров случайного смещения среднего размера с расхождением разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{max} = |\bar{x}_{max} - \bar{x}_0|$ относительно верхней \bar{x}_{max} из приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$.

Расхождение разностей среднего размера $\Delta\bar{x}_{max} = |\bar{x}_{max} - \bar{x}_0|$, $\Delta\bar{x}_{min} = |\bar{x}_0 - \bar{x}_{min}|$ на интервалах допусков действительных размеров $(-\varepsilon, \bar{x}_0) \cup [\bar{x}_0, +\varepsilon)$ относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$ влияет на достоверность результатов измерений и контроля деталей и с появлением областей вероятностных ошибок первого и второго рода в случае ошибочного принятия некоторых бракованных деталей годными (α_1) и некоторых годных деталей бракованными (β_1) приводит к двустороннему, как выше, так и ниже координа-

ты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров случайному рассеиванию среднего размера в пределах ограниченного пересечением множеств $(-\varepsilon, \bar{x}_0) \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ объединения приведенных областей

$$\begin{aligned} +\varepsilon &= \bar{x}_0 + z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2}, \\ -\varepsilon &= \bar{x}_0 - z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1} \end{aligned}$$

где $+\varepsilon$ — вычисляемый из аргумента функции Лапласа $\frac{\varepsilon - \bar{x}_0}{\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2}} = z_{0,5-\alpha_1}$ верхний предел двустороннего,

как выше, так и ниже координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров случайного рассеивания среднего размера с расхождением разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{min} = |\bar{x}_0 - \bar{x}_{min}|$ относительно нижней \bar{x}_{min} из приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$;

$-\varepsilon$ — вычисляемый из аргумента функции Лапласа $\frac{\bar{x}_0 - \varepsilon}{\sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1}} = z_{0,5-\beta_1}$ нижний предел двустороннего,

как выше, так и ниже координаты середины допуска $Ec(IT)$ действительных размеров случайного рассеивания среднего размера с расхождением разности среднего размера $\Delta\bar{x}_{max} = |\bar{x}_{max} - \bar{x}_0|$ относительно верхней \bar{x}_{max} из приемочных границ $\bar{x}_{max}, \bar{x}_{min}$.

Расхождение разностей среднего размера $\Delta\bar{x}_{Dmax} = |\bar{x}_{Dmax} - \bar{x}_{0D}|$, $\Delta\bar{x}_{Dmin} = |\bar{x}_{0D} - \bar{x}_{Dmin}|$, $\Delta\bar{x}_{dmax} = |\bar{x}_{dmax} - \bar{x}_{0d}|$, $\Delta\bar{x}_{dmin} = |\bar{x}_{0d} - \bar{x}_{dmin}|$ относительно верхней и нижней приемочных границ $\bar{x}_{Dmax}, \bar{x}_{Dmin}$, $\bar{x}_{dmax}, \bar{x}_{dmin}$ на интервалах допусков действительных размеров отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}) \cup [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}) \cup [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$ приводит к случайному рассеиванию среднего зазора и натяга $Sc(Nc)$ в сопряжениях (4–6) в пределах ограниченного объединением пересечений множеств $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}) \cap [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon) \cup (-\varepsilon, \bar{x}_{0d}) \cap [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon) \Leftrightarrow (\alpha_{1D} \cup \beta_{1D}) \cup (\alpha_{1d} \cup \beta_{1d})$ случайного рассеивания среднего размера отверстий и валов.

Вероятностный допуск случайного рассеивания среднего зазора и натяга в сопряжениях $T_{Sc}^B(T_{Nc}^B)$, ограниченный объединением пересечений множеств $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}) \cap [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon) \cup (-\varepsilon, \bar{x}_{0d}) \cap [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon) \Leftrightarrow (\alpha_{1D} \cup \beta_{1D}) \cup (\alpha_{1d} \cup \beta_{1d})$ случайного рассеивания среднего размера на интервалах допусков действительных размеров отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}) \cup [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}) \cup [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$, вычисляется алгебраической разностью вероятностных средних зазоров и натягов в сопряжениях или среднеквадратическим сложением алгебраической разности пределов двустороннего, как выше, так и ниже координаты середины допуска (\bar{E}_c, e_c) действительных размеров случайного рассеивания среднего размера отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}) \cup [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}) \cup [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$

$$\begin{aligned} T_{Sc}^B(T_{Nc}^B) &\in (-\varepsilon, \bar{x}_{0D}) \cap [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon) \cup (-\varepsilon, \bar{x}_{0d}) \cap [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon) \Leftrightarrow (\alpha_{1D} \cup \beta_{1D}) \cup (\alpha_{1d} \cup \beta_{1d}), \\ T_{Sc}^B &= Sc_{max}^B - Sc_{min}^B = \sqrt{(z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2D} + z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1D})^2 + (z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2d} + z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1d})^2}, \\ T_{Nc}^B &= Nc_{max}^B - Nc_{min}^B = \sqrt{(z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2D} + z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1D})^2 + (z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2d} + z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1d})^2}, \\ T_{Sc}^B(T_{Nc}^B) &= \sqrt{(+\varepsilon_D - (-\varepsilon_D))^2 + (+\varepsilon_d - (-\varepsilon_d))^2} = \\ &= \sqrt{(z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2D} + z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1D})^2 + (z_{0,5-\alpha_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_2d} + z_{0,5-\beta_1} \cdot \sigma_{\Sigma\Delta\bar{x}_1d})^2}, \end{aligned}$$

где $+\varepsilon_D, -\varepsilon_D, +\varepsilon_d, -\varepsilon_d$ — пределы двустороннего как выше, так и ниже координаты середины допуска (E_c, e_c) действительных размеров случайного рассеивания среднего размера отверстий $(-\varepsilon, \bar{x}_{0D}) \cup [\bar{x}_{0D}, +\varepsilon)$ и валов $(-\varepsilon, \bar{x}_{0d}) \cup [\bar{x}_{0d}, +\varepsilon)$.

Поступление на сборку равного количества деталей, в том числе в проверяемых партиях деталей с разбиением допусков действительных размеров на равное число размерных групп достигается уменьшением допусков действительных размеров на допуск

формы реальных поверхностей в диаметральном выражении $TCEd = T_\phi d(2\Delta_\phi d)$, $TCED = T_\phi D(2\Delta_\phi D)$ в пределах случайного рассеивания среднего размера $(-\varepsilon, \bar{x}_0] \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ относительно верхней и нижней приемочных границ \bar{x}_{\max} , \bar{x}_{\min} так, что для цилиндрического внутреннего элемента уменьшенный допуск действительных размеров задается алгебраической разностью между размером максимума материала D_{MMR} и нижним предельным размером отверстия D_{\min}' , $TD = D_{MMR} - D_{\min}'$, а для цилиндрического наружного элемента — алгебраической разностью между верхним предельным размером вала d_{\max} и размером максимума материала d_{MMR}' , $T_d = d_{\max} - d_{MMR}'$.

С уменьшением реальных зазоров и натягов в сопряжениях посредством сужения допусков действительных размеров на допуск формы реальных поверхностей в диаметральном выражении $TCEd = T_\phi d(2\Delta_\phi d)$, $TCED = T_\phi D(2\Delta_\phi D)$ в пределах случайного рассеивания среднего размера $(-\varepsilon, \bar{x}_0] \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ относительно верхней и нижней приемочных границ \bar{x}_{\max} , \bar{x}_{\min} исключается случайное рассеивание среднего зазора и натяга $Sc(Nc)$ в сопряжениях, смещение центра группирования $Em(\bar{x}_0, \sigma_{\Sigma \bar{x}})$ допусков действительных размеров относительно верхней и нижней приемочных границ \bar{x}_{\max} , \bar{x}_{\min} . Годность деталей с уменьшением допусков действительных размеров на допуск формы реальных поверхностей в диаметральном выражении $TCEd = T_\phi d(2\Delta_\phi d)$, $TCED = T_\phi D(2\Delta_\phi D)$ в пределах случайного рассеивания среднего размера $(-\varepsilon, \bar{x}_0] \cap [\bar{x}_0, +\varepsilon) \Leftrightarrow \alpha_1 \cup \beta_1$ относительно верхней и нижней приемочных границ \bar{x}_{\max} , \bar{x}_{\min} необходимо проводить нахождением применительно для каждой детали наибольшего и наименьшего размера при их дальнейшем рассмотрении как размеров максимума материала при контроле с применением проходных калибров верхней и нижней приемочных границ.

Библиографический список

1. Pierre L., Rouetbi O., Anselmetti B. Tolerance analysis of hyperstatic mechanical systems with deformations // *Procedia CIRP*. 2018. Vol. 75. P. 244–249. DOI: 10.1016/j.procir.2018.04.059.
2. Kannan S. M., Pandian Raja G. A new selective assembly model for achieving specified clearance in radial assembly // *Materials Today: Proceedings*. 2021. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.12.1229.
3. Tsai J.-C., Chou T.-T., Chang C.-K. Statistical Analysis of Contact Stiffness for Shaft-Bearing Assembly with Tolerancing and Fit // *Procedia CIRP*. 2020. Vol. 92. P. 45–50. DOI: 10.1016/j.procir.2020.05.170.
4. Häggström D., Sellgren U., Björklund S. The effect of manufacturing tolerances on the thermomechanical load of

gearbox synchronizers // *Procedia CIRP: 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems*. 2018. Vol. 72. P. 1202–1207. DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.050.

5. Glukhov V. I., Grinevich V. A., Shalay V. V. Tolerance system for linear maximum material sizes and their inspection by calibers // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1210. P. 012050. DOI: 10.1088/1742-6596/1210/1/012050.

6. Glukhov V. I., Grinevich V. A., Shalay V. V. The linear sizes tolerances and fits system modernization // *Journal of Physics Conference Series*. 2018. Vol. 998. P. 012012. DOI: 10.1088/1742-6596/1210/1/012012.

7. Corrales L. del Carmen Ng, Labran M. P., Morella P. [et al.]. Developing and implementing a Lean Performance Indicator: Overall Process Effectiveness to Measure the Effectiveness in an Operation Process // *Machines*. 2022. Vol. 10. P. 133–151. DOI: 10.3390/machines10020133.

8. Пат. 2745990 Российская Федерация, МПК F 16 S 5/00. Способ сборки по одноименным размерным группам равного количества деталей одной размерной группы / Чигрик Н. Н. № 2020122318; заявл. 30.06.20, опублик. 05.04.21. Бюл. № 10.

9. ISO 286-1:2010 Geometrical product specifications (GPS). ISO code system for tolerances on linear sizes. Part 1: Basis of tolerances, deviations and fits. URL: <https://www.iso.org/standard/45975.html> (дата обращения: 30.07.2022).

10. ISO 286-2:2010 Geometrical product specifications (GPS). ISO code system for tolerances on linear sizes. Part 2: Tables of standard tolerance classes and limit deviations for holes and shafts. URL: <https://www.iso.org/standard/54915.html> (дата обращения: 30.07.2022).

11. ГАЗ-3307. ГАЗ-3309: руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту. Москва: Издат. дом Третий Рим, 2007. 188 с.

12. ГОСТ 8.051-81 Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерениях линейных размеров до 500 мм. Введ. 1982–01–01. Москва: Изд-во стандартов, 1982. 10 с.

ЧИГРИК Надежда Николаевна, кандидат технических наук, доцент (Россия), заведующая кабинетом метрологии, преподаватель Омского монтажного техникума, г. Омск.

ORCID: 0000-0001-6938-029X

Адрес для переписки: chigrik2014@gmail.com

Для цитирования

Чигрик Н. Н. Количественная оценка неопределенности случайного рассеивания среднего зазора и натяга в сопряжениях // *Омский научный вестник*. 2022. № 4 (184). С. 101–111. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-184-101-111.

Статья поступила в редакцию 01.09.2022 г.

© Н. Н. Чигрик