

**В. А. Лебедев**, канд. техн. наук, проф., **О. Н. Котенко**

(Донской государственной технической университет, г Ростов-на-Дону. РФ)

Тел. 89515395159, [E-mail-va.ledidev@yandex.ru](mailto:E-mail-va.ledidev@yandex.ru)

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ДОПУСКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА ИЗДЕЛИЯ

*Предложена методика расчета эксплуатационного допуска, обеспечивающего стабильность размеров функционального параметра и, как следствие, работоспособность изделия в условиях эксплуатации, характеризующихся влиянием временных и температурных факторов.*

**Ключевые слова:** функциональный параметр изделия, рабочий допуск, внешнее воздействие, точность, стабильность размеров.

**V. A. Lebedev, O. N. Kotenko**

## METHODOLOGY FOR CALCULATING THE OPERATING TOLERANCE OF A FUNCTIONAL PARAMETER OF A PRODUCT

*A methodology for calculating the operating tolerance that ensures dimensional stability of a functional parameter and, as a consequence, product performance under operating conditions characterized by the influence of time and thermal factors is proposed.*

**Keywords:** functional parameter of the product, operating tolerance, external influence, accuracy, dimensional stability.

Точность параметра изделия, определяющего его функциональное назначение, зависит от размерной точности влияющих на него деталей, достигаемой на стадии их изготовления [1-4].

При эксплуатации изделия на него оказывают влияние фактор времени и различные внешние воздействия. Наиболее характерными видами воздействия являются тепловые, колебательные. Под влиянием времени и внешних воздействий в деталях происходят явления, приводящие к изменению их линейных размеров, которые вызывают изменение функционального параметра. Степень изменения функционального параметра под влиянием времени и воздействующих факторов оценивают таким свойством, как стабильность. – это свойство параметра сохранять свое значение неизменным (постоянным) относительно начального значения при воздействии факторов окружающей среды и с течением времени [1, 3].

На практике стабильность функционального параметра изделия обычно оценивают по отдельным эксплуатационным факторам. При рассмотрении таких факторов, как температура и время, используют температурный допуск и временной допуск. При рассмотрении других факторов используют допуски, ограничивающие отклонения функционального параметра, обусловленные действием рассматриваемых факторов. Совместную оценку точности и стабильности выходных параметров выполняют с помощью эксплуатационного допуска [3].

Эксплуатационный допуск функционального параметра устанавливают на основе знания технологического допуска, температурного допуска, временного допуска и других допусков в зависимости от того, какие факторы принимаются во внимание.

При эксплуатации изделий под воздействием меняющихся сочетаний дестабилизирующих факторов происходит смещение и изменение поля рассеивания суммарного разброса функционального параметра. В этом случае закон распределения суммарной погрешности функционального параметра оказывается случайным и в

зависимости от сочетания эксплуатационных факторов может принимать любую форму. Однако для определения эксплуатационных допусков важно лишь знать предельный разброс функционального параметра. Поэтому при расчетах суммарных допусков необходимо учесть возможные сочетания эксплуатационных факторов, наиболее неудачные с точки зрения разброса функционального параметра.

Для количественной оценки точности функционального параметра можно использовать  $M(y)$  – математическое ожидание (среднее значение) и  $\sigma(y)$  – среднее квадратическое отклонение функционального параметра  $y$ , которое характеризует разброс функционального параметра, обусловленный только технологическими погрешностями влияющими на него размеров деталей.

В основу оценки стабильности функционального параметра положено уравнение относительной погрешности, обусловленной действием того или иного эксплуатационного фактора в виде:

$$\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_j = \sum_{i=1}^n B_i \left(\frac{\Delta x_i}{x_i}\right)_j, \quad (1)$$

где  $B_i$ -коэффициент влияния  $i$ -го размера детали на функциональный параметр.

$\left(\frac{\Delta x_i}{x_i}\right)_j$  - относительное изменение  $i$ -го размера детали, вызываемое действием  $j$ -го эксплуатационного фактора.

Применение этого уравнения для оценки стабильности функционального параметра не представляется возможным в силу случайного характера величин  $\left(\frac{\Delta x_i}{x_i}\right)_j$ .

Однако это уравнение позволяет получить рабочие формулы, используемые при определении температурных допусков и временных допусков.

Методика определения эксплуатационного допуска функционального параметра  $y$  изделия предусматривает следующую последовательность действий.

#### 1. Анализ и уточнение исходных данных.

В качестве исходных данных для расчета эксплуатационного допуска выступают:

- математическая модель, раскрывающая физическую сущность и точность функционального параметра изделия, и его размерную связь с параметрами деталей, оказывающими непосредственное влияние на него;

- факторы внешнего воздействия на изделие в процессе эксплуатации и их численные значения (диапазон температур, интервал времени эксплуатации, акустические характеристики и др).

- вероятность гарантированного обеспечения допуска  $P$ .

#### 2. Определение (или уточнение) параметров технологического допуска функционального параметр изделия:

- математическое ожидание (среднее значение):

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_\Pi = \sum_{i=1}^n M\left(\frac{\Delta x_i}{x_i}\right)_\Pi, \quad (2)$$

- половину поля рассеивания технологического допуска:

$$\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_\Pi = P \sqrt{\sum_{i=1}^6 B_i^2 \delta^2\left(\frac{\Delta x_i}{x_i}\right)_\Pi K_i^2}, \quad (3)$$

где  $K_i$  – коэффициент относительного рассеивания, согласно гипотезе о равновероятностном распределении размеров равен  $K_c = 1/3$ .

$P$  – коэффициент гарантированного обеспечения допуска; зависит от вероятности, с которой гарантируется допуск.

технологический допуск:

$$\Delta_{\Pi} = \xi \left\{ \left[ M \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_{\Pi} \pm \delta \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_{\Pi} \right] \right\}, \text{ мкм} \quad (4)$$

3. Определение параметров температурного допуска функционального параметра изделия.

– математическое ожидание (среднее значение):

$$M \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_{T} = \sum_{i=1}^n M \left( \frac{\Delta x_i}{x_i} \right)_{T}, \quad (5)$$

где  $\left( \frac{\Delta x_i}{x_i} \right)_{T} = a_i \Delta T$ ;

$a_i$  – температурный коэффициент  $i$ -й детали, показывающий, как изменяется размер при изменении температуры на один градус; имеет размерность [мм/град С];

$\Delta T = T_{\text{ср}} - 20^{\circ}$ , где  $T_{\text{ср}}$  – температура окружающей среды (наибольшая по условиям эксплуатации),  $^{\circ}\text{C}$ ;

– половину поля рассеивания температурного допуска:

$$\delta \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_{T} = P \sqrt{\sum_{i=1}^6 B_i^2 \delta^2 \left( \frac{\Delta x_i}{x_i} \right)_{T} K_i^2}, \quad (6)$$

– температурный допуск:

$$\Delta_T = \left[ M \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_{T} \pm \delta \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_{T} \right], \text{ мкм} \quad (7)$$

4. Определение параметров временного допуска функционального параметра изделия.

– математическое ожидание (среднее значение):

$$M \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_{t} = \sum_{i=1}^n M \left( \frac{\Delta x_i}{x_i} \right)_{t}, \quad (8)$$

где  $\left( \frac{\Delta x_i}{x_i} \right)_{t} = \beta_i \Delta t$ ,

$\beta_i$  – временной коэффициент  $i$ -й детали; показывающий изменение размера детали за каждый час времени эксплуатации; имеет размерность [мм/час];

$\Delta t$  – рассматриваемый интервал гарантированного времени эксплуатации изделия / час.

– половину поля рассеивания временного допуска:

$$\delta \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_{t} = P \sqrt{\sum_{i=1}^6 B_i^2 \delta^2 \left( \frac{\Delta x_i}{x_i} \right)_{t} K_i^2}, \quad (9)$$

– временного допуск:

$$\Delta_t = \left[ M \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_t \pm \delta \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_t \right], \text{ мкм}, \quad (10)$$

5. Определение максимальных пределов смещения среднего значения суммарной относительной погрешности функционального параметра, относительно среднего значения технологического допуска по формуле:

$$M \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_\Sigma = M \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_\Pi + M \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_T + M \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_t, \quad (11)$$

где  $M \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_\Sigma$  - сумма средних значений.

6. Определение половины поля рассеивания суммарной относительной погрешности функционального параметра:

$$\delta \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_\Sigma = \sqrt{\left[ \delta \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_\Pi \right]^2 + \left[ \delta \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_T \right]^2 + \left[ \delta \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_t \right]^2}, \quad (12)$$

Характеристика  $\delta \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_\Sigma$  гарантируется с такой же вероятностью, с которой подсчитывались составляющие подкоренного выражения.

7. Устанавливаем значение эксплуатационного допуска как:

$$\Delta_\Sigma = \xi \left\{ \left[ M \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_\Sigma - \delta \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_\Sigma \right] \dots \left[ M \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_\Sigma + \delta \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_\Sigma \right] \right\}, \text{ мкм}, \quad (13)$$

где  $\xi$  – коэффициент запаса, учитывающий влияние неучтенных факторов (давление, влажность и т.д.).

Ниже приведен расчет эксплуатационного допуска на функциональный параметр электромеханического датчика давления.

### Исходные данные

Параметр  $\delta$ , определяющий функциональное назначение СП – зазор между торцами винта и контакта согласно ТУ равен  $\delta_0 = 0,3_{-0,1}$  мм

Размерная цепь и физическая сущность входящих в неё звеньев приведены на рисунке. 1 и в таблице 1.

Диапазон рабочих температур 20-350°C;

Интервал времен -87600час;

Акустическое воздействие в процессе эксплуатации -15Гц;

Вероятность гарантированного обеспечения допуска Р- 0,75.

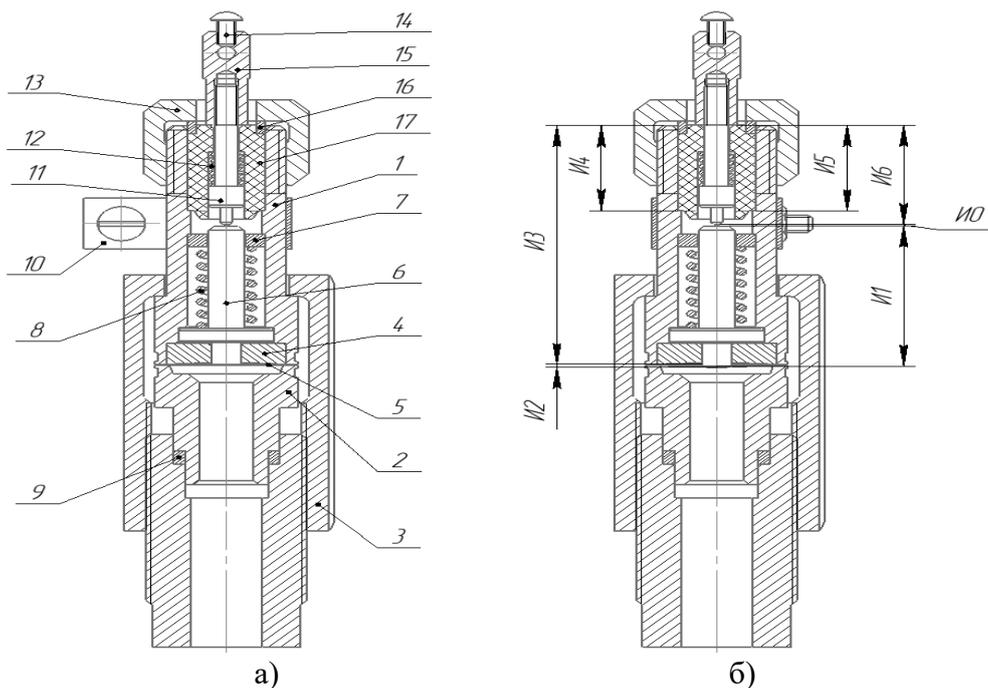


Рисунок 1. Датчик давления: а – конструкция; б – размерная цепь:  
 1 – корпус; 2 – стакан; 3, 13 – гайка; 4 – вкладыш; 5 – мембрана;  
 6 – толкатель; 7 – шайба; 8, 12 – пружина; 9, 16 – прокладка; 10 – хомут;  
 11 – контакт; 14 – винт; 15 – наконечник; 17 – изолятор

Физическая сущность звеньев размерной цепи и назначенные отклонения размеров деталей сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Физическая сущность звеньев размерной цепи

Звено	Физическая сущность звеньев	Размер, мм
И <sub>0</sub>	Зазор между торцами винта и контакта	0,3 <sub>-0,1</sub>
И <sub>1</sub>	Размер толкателя, описывающий расположение его основной базы относительно исполнительной поверхности	32,5 <sub>-0,5</sub>
И <sub>2</sub>	Вылет толкателя за торец прижима (размер деформации мембраны).	0,2 <sup>+0,1</sup>
И <sub>3</sub>	Габаритный размер корпуса. (Размер, описывающий расположение торца корпуса относительно его основной базы или вспомогательной базы вкладыша)	55,7h14 <sub>(-0,74)</sub>
И <sub>4</sub>	Размер проточки корпуса (размер между вспомогательными базами)	20H14 <sup>(+0,52)</sup>
И <sub>5</sub>	Размер изолятора (размер между основной и вспомогательной базами)	20 <sup>(+0,183</sup> <sub>-0,203)</sub>
И <sub>6</sub>	Длина винта от исполнительной поверхности до участка начала резьбы	23,1 <sup>+0,56</sup>

Результаты расчета по вышеизложенной методике приведены в таблице 2.

Таблица 2. Расчет эксплуатационного допуска функционального параметра датчика

№	Определяемый допуск	Расчетная формула	Расчетный параметр, мм
1	Технологический допуск	2, 3, 4	$\Delta_{\Pi} = (-0,05 \pm 0,052) \approx 0_{-0,102}^{+0,002}$
2	Температурный допуск	5, 6, 7	$\Delta_T = (-0,016 \pm 0,014)$
3	Временной допуск	8, 9, 10	$\Delta_t = (+0,038 \pm 0,0002)$
4	Эксплуатационный допуск	11, 12, 13	$\Delta_{\text{Э}} = (-0,0792 \dots 0,0176) \approx (0_{-0,08}^{+0,02})$

### Заключение

Предложенная методика позволяет на стадии конструкторско-технологической подготовки изготовления изделия провести размерно-точностной анализ конструкции с учетом условий его эксплуатации.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Дальский, А. М. Сборка высокоточных соединений в машиностроении / А. М. Дальский, З. Г. Кулешова. – М.: Машиностроение, 1988. - 304 с.
2. Инженерия поверхности деталей / под ред. А. Г. Суслова. М.: Машиностроение. 2008. 320 с
3. Мельников А. С., Тамаркин М. А., Тищенко Э. Э, Азарова А. И. Научные основы технологии машиностроения. – Из-во Лань, СПб 2018.
4. Боровиков С. М. Теоретические основы конструирования, технологи и надежности. Мн, Дизайн ПРО, 1998-336с.
5. Польский Е. А., Филькин Д. М. Технологическое обеспечение качества сборочных единиц на основе анализа размерных связей с учетом эксплуатации // Научные технологии в машиностроении. 2014. №11 (41). С. 36 – 44.

Поступила в редколлегию 12.02.2024 г.