

УДК 621.9.07

**Б.О. ТКАЧЕНКО**, канд. техн. наук,  
**Ю.В. ЯРОВИЙ**, канд. техн. наук, Одеса, Україна.

## **ЗАСТОСОВУВАННЯ МЕТОДУ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ**

Запропоновано використовувати для розрахунку похибки базування метод розмірних ланцюгів. Використання розмірних ланцюгів дозволяє скласти метричну модель виробу і оптимізувати вимоги до точності геометричних параметрів. Пропонується поділ всіх схем базування на дві групи – установка з зазором і установка без зазору. Використання методу розмірних ланцюгів дозволяє розрахувати похибка базування для будь-якої схеми установки заготовки і врахувати вплив попередніх операцій механічної обробки.

**Ключові слова:** похибка базування, розмірний ланцюг.

Предложено использовать для расчета погрешности базирования метод размерных цепей. Использование размерных цепей позволяет составить метрическую модель изделия и оптимизировать требования к точности геометрических параметров. Предлагается деление всех схем базирования на две группы – установка с зазором и установка без зазора. Использование метода размерных цепей позволяет рассчитать погрешность базирования для любой схемы установки заготовки и учесть влияние предварительных операций механической обработки.

**Ключевые слова:** погрешность базирования, размерная цепь.

The method of dimension chains is proposed for calculation of the error of workpiece basing. This method allows to create a metric model of the product and optimize the requirements for the accuracy of geometric parameters. It is proposed to divide all the basing schemes in two groups: setting with a gap and setting without a gap. The method of dimension chains allows to calculate the baseline error for any scheme of workpiece setting and takes into account the effect of preliminary machining operations.

**Keywords:** workpiece basing, dimension chain.

**Вступ.** Впровадження нових технологій, сучасного устаткування направлено по підвищення продуктивності виробництва та поліпшення якості обробки. В свою чергу поліпшення якості виробу пов'язане з похибками які впливають на якість обробки.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Як відомо сумарна похибка встановлення заготовки у пристрої складається з похибки базування, закріплення та похибки положення [1]. Але питомий вплив похибки базування найбільший.

Похибка базування (випадкова величина) розраховується аналітично, як різниця між найбільшими та найменшими величинами проєкцій зміщення вимірювальної бази на напрямок розміру що виконується. Для розрахунку цієї величини складається розрахункова схема де показано заготовку у двох граничних положеннях, коли розмір, що впливає на похибку базування є найменший та найбільший.

Похибка базування визначається, як величина відрізка із геометричного розрахунку [2, 3].

Однак, якщо похибка базування залежить від декількох розмірів, що отримано на попередніх операціях, то застосування методу геометричного розрахунку не можливо. У цьому випадку застосовується універсальна методика розмірних ланцюгів.

**Ціль роботи.** Запропонувати та довести, що методику розмірних ланцюгів також можливо застосовувати для розрахунку похибки базування.

**Основний матеріал.** За цією методикою усі розрахункові схеми можливо поділити на дві групи: установка з зазором та установка без зазору.

До першої групи відносять такі схеми базування, як по площині та двом перпендикулярним отворах (корпусні деталі), базування по площині та перпендикулярному отвору (деталі типу диск) та інші.

До другої групи можливо віднести базування у призмі зовнішньою циліндричною поверхнею, базування по трьом площам тощо.

Розглянемо деяку схеми базування. Нехай необхідно фрезерувати поз у корпусній деталі, витримуючи операційні розміри  $H$  та  $K$ , якщо деталь базується по площині та двом перпендикулярним отворах (рис. 1). Нехай отвори розташовані у повздовжній площині симетрії деталі.

На схемі:  $D$ ,  $T(D)$  – діаметр отвору та допуск на діаметр отвору;  $d_n$ ,  $T(d_n)$  – діаметр пальця та допуск на виготовлення пальця; 80h9 та 30h12 розміри, що отримані на попередніх операціях.

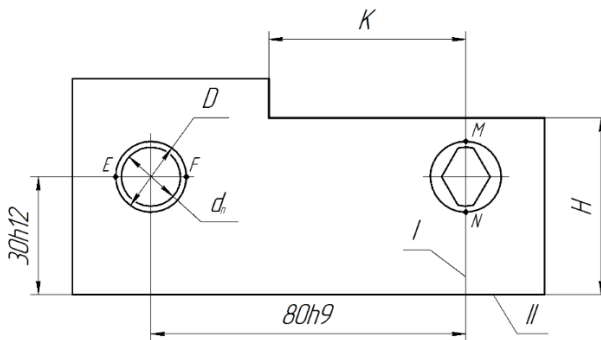


Рисунок 1

Для розрахунку похибки базування на розмір  $K$  необхідно розглянути розрахункову схему де зображується два положення заготовки при встановленні. Перше – заготовка зсунута у напрямку розміру  $K$  у край ліве положення, контакт відбувається у крапці  $F$ . Друге – заготовка зсунута у напрямку розміру  $K$  у край праве положення, контакт відбувається у крапці  $E$  (рис. 2).

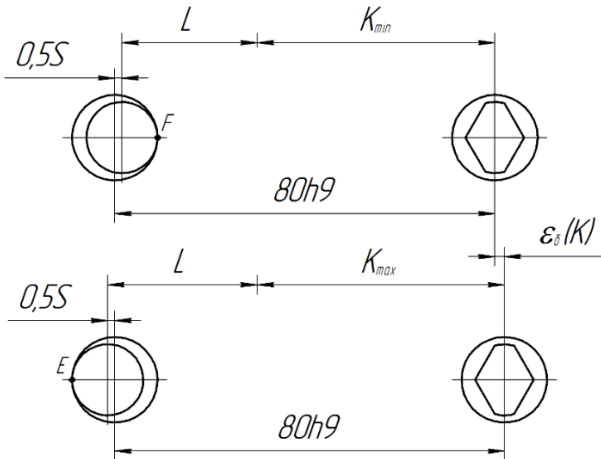


Рисунок 2

Таким чином отримаємо дві розрахункові схеми. Вимірювальною базою, що до розміру  $K$  є вісь отвору  $I$ , отвір встановлюється на короткий ромбічний палець. Різниця між максимальними та мінімальними величинами зміщення вимірювальної ази знаходиться згідно формули:

$$e_o(K) = K_{\max} - K_{\min} \quad (1)$$

Розміри  $K_{\max}$  та  $K_{\min}$  визначаються з розмірного ланцюга (рис. 3).

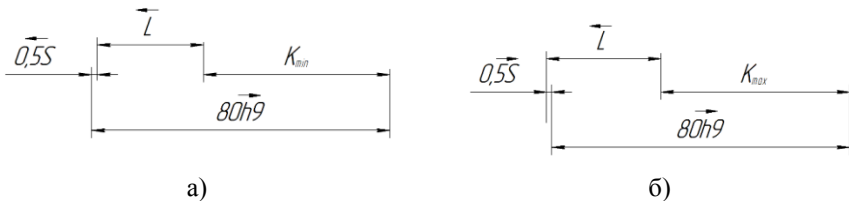


Рисунок 3

На розрахунковій схемі розмір  $L$  – налагоджувальний. Це розмір від центру пальця до інструменту,  $L_{\max} = L_{\min} = L$ .

У методиці із розрахунку розмірних ланцюгів отримуємо такі формули:

$$\begin{aligned} K_{\max} &= 80h9_{\max} + 0,5S_{\max} - L_{\min} \\ K_{\min} &= 80h9_{\min} - 0,5S_{\max} - L_{\max} \end{aligned} \quad (2)$$

Тоді похибка базування на розмір  $K$  складає:

$$e_o(K) = 80h9_{\max} - 80h9_{\min} + S_{\max} - (L_{\max} - L_{\min}) = T(80h9) + S_{\max} \quad (3)$$

Для розрахунку похибки базування на розмір  $H$  застосовується такий же підхід. Але у цьому випадку необхідно зобразити два положення коли заготовка зсунута у напрямку розміру  $H$  у край нижче положення та у край вище, так що контакт з отвором відбувається у точці  $M$  та у точці  $N$  відповідно (рис. 4). Вимірною базою є поверхня  $\Pi$  корпусної деталі. Різниця у положенні цієї поверхні і визначає похибку базування.

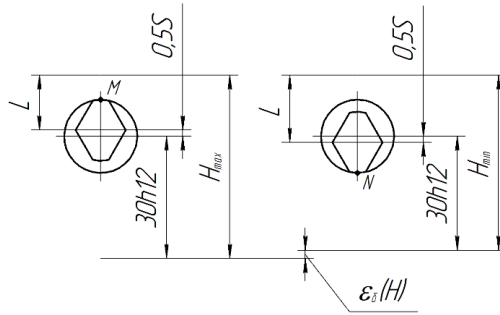


Рисунок 4

Похибка базування визначається аналогічно згідно формулі:

$$\epsilon_{\sigma}(H) = H_{\max} - H_{\min}$$

Розміри  $H_{\max}$  та  $H_{\min}$  визначаються з розмірного ланцюга (рис. 5).

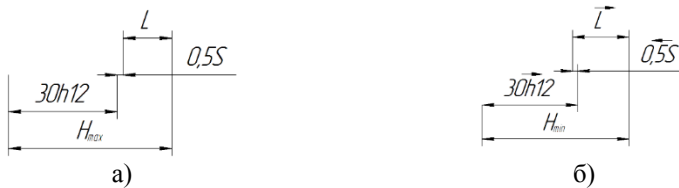


Рисунок 5

З розмірних ланцюгів отримуємо наступні формули:

$$H_{\max} = 30h_{2\max} + 0,5S_{\max} + L_{\max}$$

$$H_{\min} = 30h_{2\min} - 0,5S_{\max} + L_{\min}$$

Похибка базування буде:

$$e_{\sigma}(H) = T(30h/2) + S_{\max} \quad (4)$$

У отриманих формулах  $S_{\max}$  максимальний зазор між базуєчим пальцем та отвором.

У більшості схем базування корпусних деталей по площині та двом перпендикулярним отворам отвори розносяться по діагоналі. Нехай необхідно фрезерувати паз аналогічного прикладу. Але отвори розташовані на осі, яка нахилена під кутом  $\alpha$  до горизонталі (рис. 6).

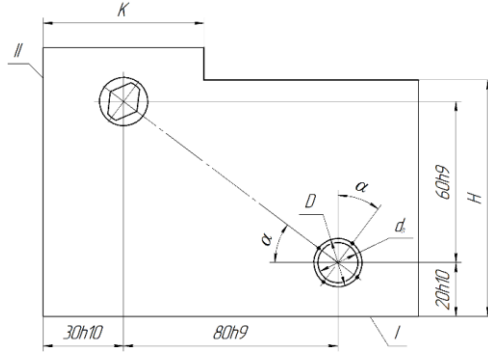


Рисунок 6

Необхідно визначити похибку базування на розмір  $H$  та розмір  $K$ . Розміри  $30h10$ ,  $80h9$ ,  $20h10$ ,  $60h9$  та діаметри отворів  $D$  та діаметри пальців  $d_n$  з допускami  $T(D)$  та  $T(d_n)$  є довільними величинами. Для розміну  $H$  вимірювальною базою є поверхня  $I$  деталі, а для розміру  $K$  – поверхня  $II$ .

Для розрахунку похибки базування на розмір  $K$  необхідно розглянути зсув заготовки у напрямку лінії, яка з'єднує осі пальців згідно схеми у напрямку стрілок (рис. 7).

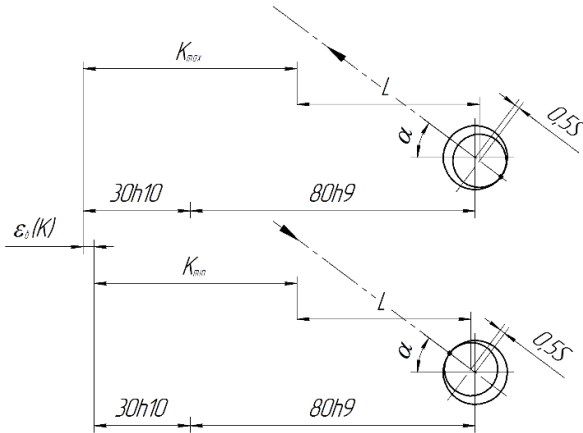


Рисунок 7

Таким чином, у відмінності від розрахункової схеми приходимо до розмірних ланцюгів з непаралельним розташуванням розмірів. Для розрахунку необхідно спроектувати усі розміри на напрямку замикаючого розміру  $K$ . Розмір  $L$  використовуються для налагодження, як і прикладі, що приведено вище. Отримаємо розмірні ланцюги для визначення розміру  $K_{\max}$  та  $K_{\min}$  (рис. 8).

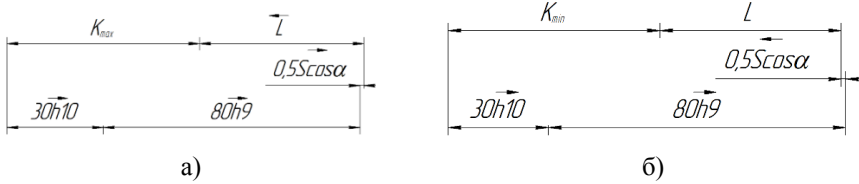


Рисунок 8

Таким чином, отримаємо граничні розміри:

$$K_{\max} = 30h10_{\max} + 80h9_{\max} + 0,5S_{\max} \cos\alpha - L_{\min}$$

$$K_{\min} = 30h10_{\min} + 80h9_{\min} - 0,5S_{\max} \cos\alpha - L_{\max}$$

Похибка базування визначаємо згідно формулою (1),

$$\varepsilon_o(K) = T(30h10) + T(80h9) + S_{\max} \cos\alpha \quad (5)$$

Для розміру  $H$  необхідно розглянути зсув заготовки у напрямку лінії яка перпендикулярна до напрямку попереднього переміщення згідно розрахункової схеми (рис. 9).

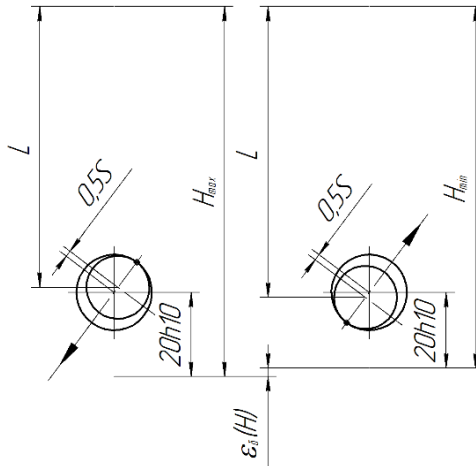


Рисунок 9

Отримуємо розміри ланцюгів для визначення розміру  $H_{\max}$  та  $H_{\min}$  (рис. 10). Як у попередньої схеми усі розміри спрямовані на напрямок замикаючої ланки  $H$ .

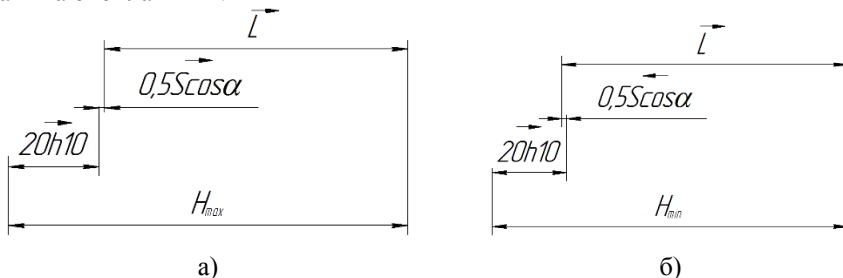


Рисунок 10

Граничні розміри:

$$H_{\max} = 20h10_{\max} + 0,5S_{\max} \cos \alpha + L_{\max}$$

$$H_{\min} = 20h10_{\min} - 0,5S_{\max} \cos \alpha + L_{\min}$$

Похибка базування визначаємо згідно формулою (1),

$$\varepsilon_o(H) = T(20h10) + S_{\max} \cos \alpha \quad (6)$$

Таким чином, порівнюючи формули (3), (4) та формули (5) (6) можна прийти до висновку, що рознесення установчих пальців по діагоналі зменшує вплив максимального зазору на похибку базування. Причому, чим більше кут  $\alpha$  тим менше буде вплив на похибку базування зазору  $S_{\max}$ .

До другої групи можна віднести, наприклад, схеми базування деталей по трьом площам з допусками на кутові розміри. Нехай фрезерується площина у корпусної деталі набором циліндричних фрез (рис. 11). Необхідно розрахувати похибку базування на розмір  $A$ , якщо задані технологічні розміри  $h$ ,  $B$ ,  $E$  та кути  $\alpha$  та  $\beta$ .

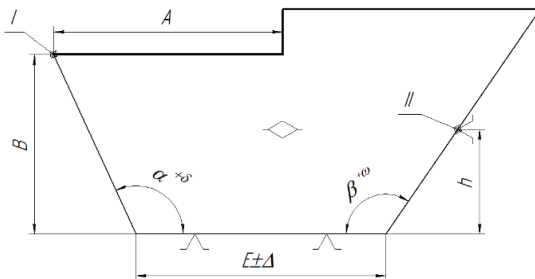


Рисунок 11

Вимірювальною базою для розміру  $A$  є точка  $I$ , а технологічною установчою базою є точка  $II$ . Ці крапки не співпадають, тому виникає похибка базування. Для визначення похибки базування на розмір  $A$  побудуємо розмірні ланцюги вводячи допоміжні лінійні розміри  $a$ ,  $b$  та налагоджувальний розмір  $L$  від опори до торця фрези (рис. 12).

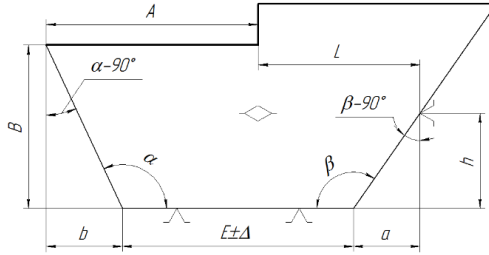


Рисунок 12

Допоміжні лінійні розміри визначаються за виразами:

$$\begin{aligned} a &= h \operatorname{tg}(\beta - 90^\circ) \\ b &= B \operatorname{tg}(\alpha - 90^\circ) \end{aligned} \quad (7)$$

У формулі () розмір  $h$  та  $B$  постійні величини, тому максимальні та мінімальні розміри визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} a_{\max} &= h \operatorname{tg}(\beta + \omega - 90^\circ) \\ a_{\min} &= h \operatorname{tg}(\beta - 90^\circ) \\ b_{\max} &= B \operatorname{tg}(\alpha + \delta - 90^\circ) \\ b_{\min} &= B \operatorname{tg}(\alpha - 90^\circ) \end{aligned} \quad (8)$$

Для визначення розміру  $A$  також будуємо розмірну схему (рис. 13). З якої отримуємо максимальний та мінімальний розмір:

$$\begin{aligned} A_{\max} &= b_{\max} + E_{\max} + a_{\max} - L_{\min} \\ A_{\min} &= b_{\min} + E_{\min} + a_{\min} - L_{\max} \end{aligned} \quad (9)$$

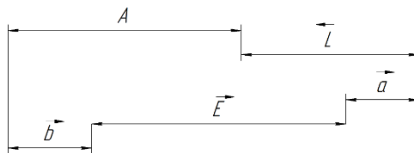


Рисунок 13



Похибка базування визначаємо за формулою:

$$\varepsilon_{\delta}(A) = A_{\max} - A_{\min} = (b_{\max} - b_{\min}) + (a_{\max} - a_{\min}) + (E_{\max} - E_{\min}) + (L_{\max} - L_{\min})$$

У зв'язку з тим, що  $L_{\max} = L_{\min} = L$  та підставляю формулу (9) отримуємо:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\delta}(A) = & B [tg(\alpha + \delta - 90^{\circ}) - tg(\alpha - 90^{\circ})] + \\ & + h [tg(\beta + \omega - 90^{\circ}) - tg(\beta - 90^{\circ})] + 2\Delta \end{aligned} \quad (10)$$

Згідно з формулою тригонометрії  $tg x - tg y = \frac{\sin(x - y)}{\cos x \cos y}$  формула (10)

уде спрощена до наступного вигляду:

$$\varepsilon_{\delta}(A) = B \frac{\sin \delta}{\sin(\alpha + \delta) \sin \alpha} + h \frac{\sin \omega}{\sin(\beta + \omega) \sin \beta} + 2\Delta \quad (11)$$

Якщо кутові розміри  $\alpha = 90^{\circ}$  та  $\beta = 90^{\circ}$ , то формула (11) прийме вигляд:

$$\varepsilon_{\delta}(A) = B \cdot tg \delta + h \cdot tg \omega + 2\Delta \quad (12)$$

Розглянута методика розрахунку похибки базування є універсальною та може бути застосована для розрахунку будь якої схеми базування.

**Висновки.** Застосування цієї методики дозволяє визначити не тільки похибку базування, але також виконати аналіз технологічних розмірів. У роботі розглянуто тільки розрахунок похибки базування для двох схем базування для яких наведені загальне визначення похибки базування. На основі цієї методики можливо виконати розрахунки похибки базування для можливих схем базування в загальному вигляді та широко застосовувати їх в інженерних розрахунках. Методику розрахунку похибки базування за допомогою розмірних ланцюгів можна також використовувати не тільки для простих схем базування, а також для складних просторих схем базування деталей.

**Список використаних джерел:** 1. Косов Н.П. Технологическая оснастка: вопросы и ответы – М.: Машиностроение, 2007 – 304 с. 2. Тарабирин О.И. Проектирование технологической оснастки в машиностроении / О.И. Тарабирин, А.П. Абызов, В.Б. Ступко. – СПб: Издательство «Лань», 2013 – 304 с. 3. Зубарев Ю.М. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении / Ю.М. Зубарев – СПб: Издательство «Лань», 2015 – 320 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Kosov N.P. Tehnologicheskaya osnastka: voprosy i otvety / M.A. Anserov – L.: Mashinostroenie, 2007. – 304 s. 2. Tarabirin O.I. Proektirovanie tehnologicheskoy osnastki v mashinostroenii / O.I. Tarabirin, A.P. Abyzov, V.B. Stupko – Spb: Izdatelstvo «Lan», 2013 – 304 s. 3. Zubarev Yu.M. Raschet i proektirovanie prispособlenij v mashinostroenii / Yu.M. Zubarev – Spb: Izdatelstvo «Lan», 2015 – 320 s.