

УДК 006.72

СТАНДАРТИЗАЦІЯ ВИЗНАЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ В АНАЛІЗІ ПАРАМЕТРІВ З ДОПУСКАМИ

© Збігнев Домбек, Роман Байцар*, 2002

Технічно-сільськогосподарська академія в Бидгощі, кафедра “Теплова техніка та метрологія”,
вул. С.Каліського, 7, 85- 763, Бидгощ, Польща

*Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра “Метрологія, стандартизація та сертифікація”,
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Запропоновано узагальнений аналіз параметрів з допусками, завдяки якому уточнюються їх визначення і позначення для можливості ширшого застосування у різних галузях промисловості.

Предлагается обобщенный анализ параметров с допусками, благодаря которому уточняются их определения и обозначения для возможности более широкого применения в различных областях промышленности.

The generalized analysis of parameters with tolerances is represented, due to which their definitions and denotations with the purpose of wider application in different industries are improved.

Розкид значень виробничих параметрів виникає через неминучі, незначні та випадкові зміни в технологічному процесі виготовлення виробу. Звідси виникає необхідність застосування виконавчих допусків. Виконавчі відхилення технічних параметрів від номінальних значень, які припускаються, отримані в технологічному процесі під час виготовлення окремих елементів, можна назвати первинними. Відхилення, викликані первинними допусками, підсумовуються при збиранні елементів і спричиняють розкид значень якісних параметрів кінцевого виробу. Такий розкид теж буває обмежений допуском, який можна назвати вторинним чи результуючим. Розкид результуючого параметра свідчить звичайно про якість виробу і його ціну, а тому бажано, щоб він був невеликим. Це відповідно збільшує як витрати підприємства, так і ускладнює технологічний процес виробництва. Визначення економічних, правильно допустимих значень виконавчих параметрів є актуальним і важливим питанням у машинобудуванні. Щодо геометричних розмірів цими питаннями, як відомо, займається розмірний аналіз.

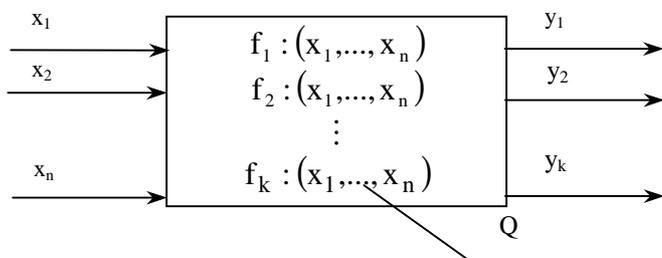


Рис. 1. Математична модель узагальнених кіл

При сучасному рівні розвитку техніки необхідність визначення допусків з'явилася не тільки щодо геометричних розмірів, але і інших галузей промисловості: в електротехніці й електроніці, автоматиці, хімічній інженерії тощо. Отже, визначення конструкційних, технологічних, вимірювальних, складальних і експлуатаційних допусків технічних параметрів перестало бути необхідністю тільки в механіці, а стало щоденною практикою у багатьох галузях промисловості. У сучасній техніці немає виробництва без допусків.

Аналогічно як у розмірному аналізі можна аналізувати течію, температуру, вологість, хімічний склад компонентів продуктів, у яких допуск може бути заданий на вагу, об'єм та інші параметри, що відображають те чи інше явище, характер якого може істотно відрізнятися в кількісному і якісному відношеннях, залежно від дійсних значень цих параметрів. Отже, на всіх етапах виробничого процесу з'являються розмірні кола у загальному значенні.

Питання узагальнення класичних розмірних кіл можна подати у формі такої математичної моделі (рис. 1). Загалом об'єктом дослідження може бути будь-який матеріальний чи штучний об'єкт Q, в якого на вході маємо параметри з допусками, а на виході результуючі параметри зв'язані з вхідними параметрами відомими функціями перетворення.

Тоді:

$$f_1 : (x_1, \dots, x_n) \mapsto y_1$$

$$f_2 : (x_1, \dots, x_n) \mapsto y_2$$

$$\vdots$$

$$f_k : (x_1, \dots, x_n) \mapsto y_k,$$

де x_1, \dots, x_n – послідовність складових параметрів (первинних); y_1, \dots, y_k – послідовність результуючих параметрів (вторинних), причому x_1, \dots, x_n і y_1, \dots, y_k є параметрами з допусками.

Умови розв'язання задач:

пряма задача: $x \Rightarrow f \Rightarrow y$.

Дані: x, f , невідоме: y – задача завжди однозначно розв'язується;

зворотна задача:

$y \Rightarrow f \Rightarrow x$

Дані: $x_1, \dots, x_{n-1}, y, f$ – невідоме: x_n – задача однозначно розв'язується, якщо збережено

$$(\forall y_k \in y) T_{y_k} > \sum_{i=1}^{n-1} \left| \frac{\partial f_k(x_{10}, \dots, x_{(n-1)0})}{\partial x_i} \right| T_{x_i} \cdot$$

$$y \Rightarrow f \Rightarrow x$$

Дані: y, f , невідомі: x_1, \dots, x_n , при необхідності збереження

$$(\forall y_k \in y) T_{y_k} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f_k(x_{10}, \dots, x_{n0})}{\partial x_i} \right| T_{x_i}$$

немає однозначного розв'язку.

В особливому випадку об'єктом Q може бути:

- класичне конструкторське розмірне коло;
- технологічні кола зв'язані зі зміною бази, визначенням встановлювального розміру, складальні кола тощо;
- покази вимірювального приладу;
- похибка непрямого вимірювання;
- фізичне явище, у якому в місці допусків вхідних параметрів можуть бути їх припущені розкиди;
- виріб чи виробничий процес, для яких вихідні параметри є оцінкою їх якості.

Розв'язком задачі є розрахунок розкиду визначеного параметра. З наведеного випливає, що предметом розрахунку можуть бути будь-які функції параметрів з допусками – незалежно від розмірності допуску. Розрахунок таких кіл неможливий без математичної підготовки і методики розрахунку, основаної на узагальненій теорії розмірного аналізу. З огляду на розмаїтість явищ і величин, що можуть бути тут розглянутими, потрібно прийняти, що аналіз параметрів з допусками буде міждисциплінарною наукою. Від-

повідно до цього, говорячи про узагальнення розмірного аналізу, необхідно підкреслити, що початковим питанням є визначення основних понять, їх позначень і визначень, що повинні бути точними і зручними для загальних математичних міркувань, а також для комп'ютерного програмування. Стандартизація термінів і позначень буде основою для подальшого розвитку цієї дисципліни.

Система позначень, прийнята в розрахунках розмірних кіл та інших обчислень, зв'язаних з визначенням допусків, узагалі довільна і різні автори приймають таку систему, яка їм зручніша. При визначенні геометричних величин з допусками в машинобудуванні застосовують позначення відповідно до міжнародної системи допусків і посадок ISO (ГОСТ 25346-89, ДСТУ 2500-94, PN-89/M-02101), у якій встановлено, що:

- нижнє відхилення “EI чи ei – це алгебраїчна різниця між найменшим граничним і відповідним номінальним розмірами”;
- верхнє відхилення “ES чи es – це алгебраїчна різниця між найбільшим граничним і відповідним номінальним розмірами”.

Прийнято, що всі символи, які відповідають отворам, позначаються великими літерами, а відповідні валу – малими. Російський ГОСТ, український ДСТУ і польський PN визначають: “вал – термін, умовно застосований для позначення зовнішніх елементів деталей, включаючи і нециліндричні елементи” і “отвір – термін, умовно застосований для позначення внутрішніх елементів деталей, включаючи і нециліндричні елементи”.

У машинобудуванні використовують також проміжні і перехідні розміри, а наведені стандарти не визначають, до чого (чи валу, чи отвору) їх потрібно віднести і за якими принципами. Рішення тут можуть бути теоретично – будь-якими.

На підставі цих міркувань можна зробити такі висновки:

- 1) Системи позначень, застосовувані в розрахунках традиційних розмірних кіл, різні.
- 2) Багатознакові позначення ускладнюють математичний запис у загальних міркуваннях.
- 3) У більшості мов програмування не розрізняються великі і малі літери, і немає ніяких вагомих причин, щоб такі відмінності вводити в системі позначення аналізу параметрів з допусками.

4) Немає також ніяких формальних, спеціальних норм, що враховують вид параметра, а додатково важко було б сказати, до якого виду віднести, наприклад, активний опір резистора, ємність конденсатора і т.п. – це “отвори” чи “вали”.

5) Не визначені однозначно деякі поняття, як наприклад, допуск і поле допуску, а також не визначені взагалі такі поняття, як наприклад, інтервал і простір допуску, що є важливим у загальних міркуваннях, зв'язаних з функціями декількох змінних.

З цих висновків випливає, що актуальна система позначення і визначення основних термінів, прийнята в розмірному аналізі, недостатня, якщо врахувати її застосування для розгляду питань, зв'язаних з будь-якими величинами. В окремих наукових і технічних дисциплінах прийнято «свої» терміни для позначення відхилень, допусків, похибок тощо, але безумовно є потреба стандартизації цих визначень, позначень і методів розрахунку. Отже, передбачається така система основних визначень в узагальненому аналізі параметрів з допусками.

Як впливає з прийнятих припущень, розмірність параметра може бути будь-якою. Позначення параметра в принципі теж може бути будь-яке, але для збереження стрункості системи прийнято, що технічні параметри будуть позначені малими літерами. У параметра може бути індекс, що з формального погляду може бути будь-яким арифметичним виразом. Точність міркувань вимагає утворення декількох різних понять для встановлення значення параметра, а також його відхилень від допущених значень. Так визначено:

- **Існуюче значення** параметра – це значення параметра, розглянуте у певних визначених умовах і визначеному часі (моменті). Позначення: буква С разом з позначенням параметра, що розглядається, напр.: $S_x, S_{x_{n-1}}$ тощо.

- **Реальне значення** параметра – це таке значення параметра, яке можна вважати настільки наближеним до існуючого значення, що різницею між ними можна знехтувати з погляду тієї мети, з якою воно розглядається. Позначення: буква Р разом з позначенням параметра, напр.: $P_x, P_{x_{n-1}}$ тощо.

- **Вимірюваний параметр** – це параметр, що підлягає вимірюванню. Позначення: буква Z разом з позначенням параметра, напр.: $Z_x, Z_{x_{n-1}}$.

- **Найменше граничне значення** параметра – це найменше допустиме значення певного параметра.

Позначення: буква А разом із позначенням параметра, напр.: $A_x, A_{x_{n-1}}$ тощо.

- **Найбільше граничне значення** параметра – це найбільше допустиме значення певного параметра. Позначення: буква В разом із позначенням параметра, напр.: $V_x, V_{x_{n-1}}$ тощо.

- **Нижнє відхилення** параметра – це алгебраїчна різниця між найменшим граничним значенням параметра і його номінальним значенням. Позначення: буква F разом з позначенням параметра, напр.: $F_x, F_{x_{n-1}}$ тощо.

- **Верхнє відхилення** параметра – це алгебраїчна різниця між найбільшим граничним значенням параметра, і його номінальним значенням. Позначення: буква G разом з позначенням параметра, напр.: $G_x, G_{x_{n-1}}$ тощо.

- **Центральне значення параметра** – це середнє арифметичне граничних значень. Позначення: буква М разом з позначенням параметра, напр.: $M_x, M_{x_{n-1}}$ тощо.

- **Допуск** – це різниця між найбільшим і найменшим граничним значенням. Позначення: буква Т разом із покажчиком параметра, напр.: $T_x, T_{x_{n-1}}$.

- **Інтервал допуску** – це безліч допустимих значень параметра, обмежених граничними значеннями. Позначення: буква X разом з позначенням параметра, напр.: $X_x, X_{x_{n-1}}$.

- **Простір допуску** – це безліч крапок n-розмірного простору, відповідних значенням допустимого параметра. Позначення: буква Y разом з позначенням параметра, напр.: $Y_x, Y_{x_{n-1}}$. Якщо параметр „у” визначений:

$$f:(x_1, \dots, x_n) \rightarrow y \text{ і } \mathcal{X}x_i = \langle Ax_i, Bx_i \rangle$$

$$\text{для } i=1, \dots, n \quad \text{те} \quad \mathcal{Y}y = \prod_{i=1}^n \mathcal{X}x_i.$$

Зберігаючи таку систему позначень, велику літеру, що визначає значення параметра, можна вважати оператором, тому що запис, наприклад $A(W)$, позначає найменше граничне значення арифметичного виразу W.

Потрібно підкреслити, що поділ термінів: допуск, поле і простір допуску, і однозначне їх визначення – необхідні.

Допуск – це різниця між найбільшим і найменшим граничними значеннями – це число.

Інтервал допуску – це безліч значень параметра, що допускаються, обмежені граничними значеннями.

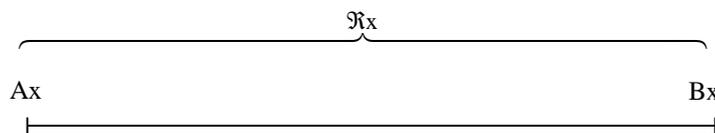


Рис. 2. Інтервал допуску в геометричному зображенні

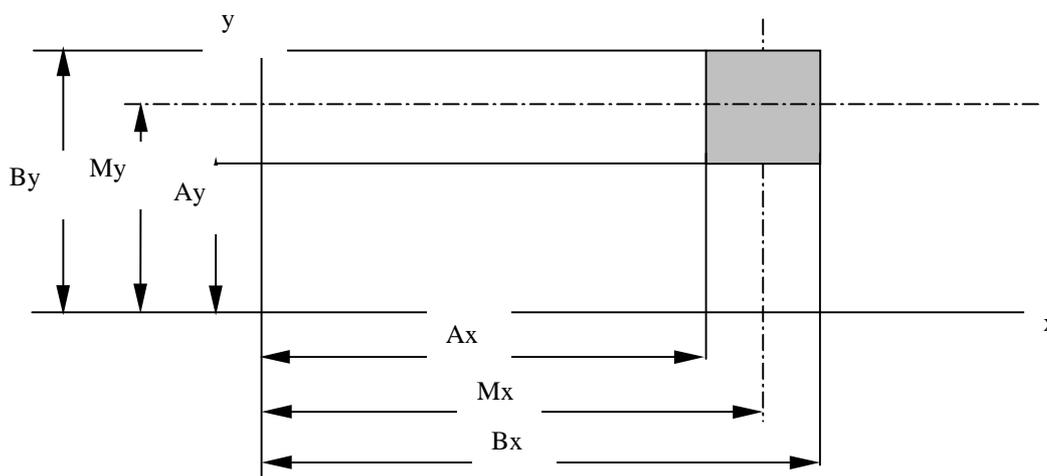


Рис. 3. Поле допуску визначене, наприклад, похибками позиціонування на координатному верстаті

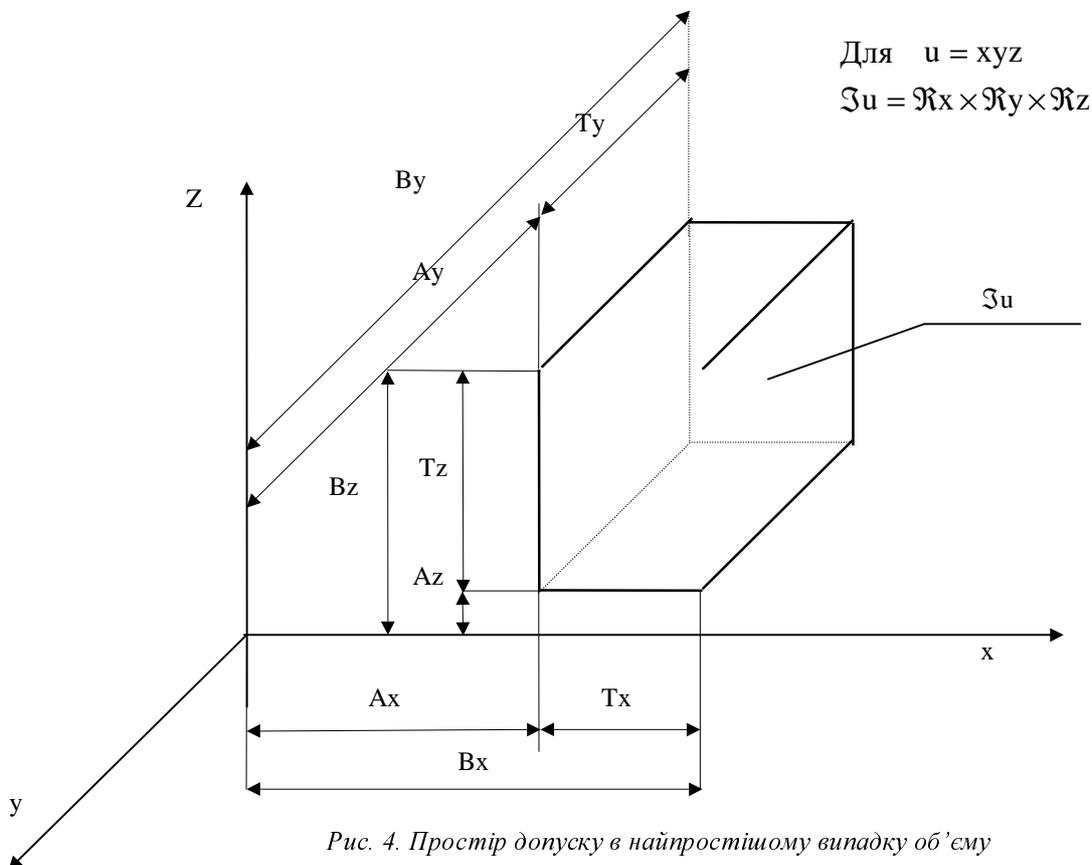


Рис. 4. Простір допуску в найпростішому випадку об'єму

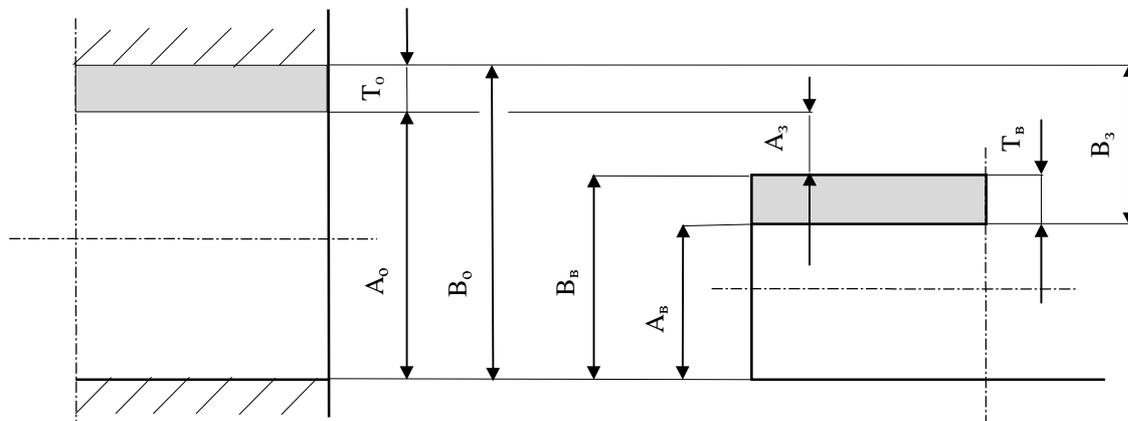


Рис. 5. Навчальна ілюстрація зазору посадки

З визначення

$$\mathcal{R}_X = \langle A_X, B_X \rangle.$$

Поле допуску – це дворовмірна безліч крапок $\mathcal{R}_{X_1} \times \mathcal{R}_{X_2}$.

Простір допуску – це n -мірний простір, обмежений так, що будь-яка точка цього простору відповідає значенню допустимого параметра. Простір допуску є базою інформації про всі значення дослідженого параметра. Якщо:

$$f:(x_1, \dots, x_n) \rightarrow u \text{ і } \mathcal{R}_{X_i} = \langle A_{X_i}, B_{X_i} \rangle \text{ для } i=1, \dots, n$$

$$\text{те } \mathcal{Z}_y = \times_{i=1}^n \mathcal{R}_{X_i}$$

Звичайно, дуже часто користуються поняттям поля допуску замість інтервалу допуску. У будь-якому підручнику чи курсі лекцій, якщо йдеться про систему посадок, подаючи з'єднання вала й отвору, користуються схемою, на якій допуски вала й отвору представлені у вигляді полів (рис. 5).

Користуючись таким рисунком, дуже легко пояснити всі залежності і вивести відповідні формули. Перевага такої геометричної ілюстрації полягає в тому, що вона добре і легко сприймається, полегшує обговорення тощо. Але не треба забувати про те, що визначення люзу (проміжку) такого з'єднання є одновимірною величиною і відповідає визначенню інтервалу допуску. Поле – це, за визначенням, геометричне двовимірне утворення, що визначається як добуток двох розмірів. Таке утворення існує тоді, коли обидва розміри визначені. Якщо визначений тільки один з них, а другий залишається вільним, то таке поле невизначене, тому що його значення дорівнює нескінченності. Про поле допуску можна говорити тоді, коли визначені обидва розміри. Класичним прикладом поля допуску є безліч точок, що виникають у випадку визначення (розташування) точок у декартовій прямокутній

системі координат на площині. Це може бути, наприклад, завдання розташування осі отвору з заданими похибками позиціонування (тому що це представлено на рис. 3). Звідси можна зробити висновок, що терміни допуск і поле допуску повинні бути розділені і точно визначені.

Висновки

1. Як наука, так і виробнича практика вимагає узагальненого аналізу, яким можна було б скористатися у випадку довільних параметрів незалежно від їх розмірностей, а також будь-яких функцій, що зв'язують ці параметри.

2. Недоліком системи позначень, прийнятої в розмірному аналізі, утвореної на системі SI, є відсутність точних визначень для загальних термінів, що визначають значення параметрів (зокрема не розділено точно визначення допуску і поля допуску), а також різне позначення такого самого параметра (великі та малі літери) залежно від того, вал це чи отвір, що ускладнює загальні обговорення і математичний запис.

3. Запропонований набір основних термінів, на думку авторів, є струнким і повним. Тут розділено й однозначно визначено поняття допуску, інтервалу допуску, поля і простору допуску, які необхідні для загальних теоретичних міркувань.

4. Запропонована система позначень дає змогу увести узагальнені міркування і дати однозначний і точний математичний виклад.

1. Dabek Z. *Analiza wielkosci tolerowanych*. Bydgoszcz, 1995. -150 с. 2. Dabek Z. *Numeryczne metody analizy wielkosci tolerowanych*. Bydgoszcz: Akademia Techniczno-Rolnicza, 1980. - 127 с. 3. Dąbek Z. *O pewnej metodzie analizy wymiarowej*. *Normalizacja* 1976 nr 12. - С.14-18. 4. Dąbek Z. *Podstawowe pojecia analizy wielkosci tolerowanych*. *Normalizacja* 1986 nr 4.-С.6-8. 5. Домбэк З.А. *Научные основы детерминистических и вероятностных методов расчета параметров с допусками: Автореф. дис. докт. техн. наук. Минск, 2000. – 35 с.*