

внутренней зеркальной поверхности рефлектора на основе метода анаберационных точек, который может быть использован для измерения отклонений формы как металлических эллипсоидов с полированной внутренней поверхностью, так и изготовленных по предложенной технологии. Разработан аналитический базис пространственной ориентации элементов измерительного средства и математический аппарат определения среднеквадратичного отклонения формы поверхности в точке контроля. Сравнительный контроль металлического и металлизированного эллипсоидов произведен в пяти плоскостях на разных высотах, которые характеризуют положение точки контроля и угол падения лазерного луча. В заданных плоскостях получено «цифровую» модель рабочей поверхности эллипсоида вращения с действительной формой и коэффициентом отражения. Результаты контроля могут быть учтены при коррекции математического аппарата распространения оптического излучения в биомедицинских фотометрах.

**Ключевые слова:** эллипсоид вращения, рефлектор, 3- D печать, фотометрия.

**M. A. Bezuglyi, O. V. Linucheva, N. V. Bezuglaya, M. V. Byk, S. A. Kostiuk**

*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,  
Kyiv, Ukraine*

### CONTROL OF THE ELLIPSOIDAL REFLECTORS SHAPE FOR BIOMEDICAL PHOTOMETERS

A mirror coating technology by chemical-galvanic metallization of inner surface of ellipsoidal reflector produced by 3-D printing of ABS plastic is presented in the paper. Two ways of this technology realization were considered. The first is by applying a conductive layer with graphite powder. The second is by chemical deposition metal conductive layer and subsequent functional layering. The method of shape control of inner mirror surface of reflector based of aberration points was developed and can be used to measure the deviation form of metal ellipsoids with polished inner surface as well as produced by proposed technology. The analytical basis for spatial orientation elements measuring tools and mathematical tools of determine standard deviation shape the surface at the point of control were developed. Comparative control of the metal ellipsoid and the metallized ellipsoid was spent in five planes at different heights characterizing the position of the control's point and the angle of the laser beam. In a given planes "digital" model working surface of an ellipsoid revolution with the actual shape and the coefficient of reflection have been received. The control results can be taken into account during correction of the mathematical tools propagation of optical radiation in biomedical photometer.

**Keywords:** ellipsoid of revolution, reflector, 3-D printing, photometry.

*Надійшла до редакції  
27 квітня 2017 року*

*Рецензовано  
17 травня 2017 року*

© Безуглий М. О., Лінючева О. В., Безугла Н. В., Бик М. В., Костюк С. А., 2017  
DOI: 10.20535/1970.2017.53.1.010

УДК 620.179.14

### ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ФАНТОМУ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ

*Скицюк В. І., Клочко Т. Р.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені  
Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

*E-mail: [klochkotr@gmail.com](mailto:klochkotr@gmail.com)*

*У попередній низці авторських статей розглядалися просторові елементи технологічного об'єкта як частки відліку розмірів у технологічних процесах вимірювання. У пропонуємії статті розглянуто низку проблем, пов'язаних із перетворенням уявного розміру в реальний, не розглядаючи при цьому сам процес утворення. Водночас, сам процес утворення необхідного розміру розглядається як реалізація фантому другого роду.*

*Оскільки між уявним та реальним розмірами існує зв'язок лише через теорію вірогідності, то розглядається низка проблем з визначенням точності отримуюмого розміру. Для цього у систему допусків та постав вводиться величина елементарної частки похибки та дуальності поверхні, які надають можли-*

вість вирішити низку проблем, які стосуються використання низки задач виробництва. Введення величин елементарної частки похибки та дуальності в закон нормального розподілу Гауса дозволяє пов'язати в одне ціле уявні та реальні розміри.

**Ключові слова:** елементарна частка, похибка, дуальність, панданна зона, закон Гауса.

### **Вступ. Постановка проблеми**

При виготовленні деталей за механічною обробкою за двома основними технологічними способами [1] виникає низка проблем стосовно інтерпретації кінцевого результату. За таким результатом необхідно розуміти низку технологічних операцій, які надають можливість отримати кінцевий продукт (деталь, процес тощо) у будь-який спосіб. Для того, щоб певним чином удосконалити процес виготовлення деталей, було введено систему дотримання параметрів виробництва. Ця система у своїй основі була емпірична, як і сама система виробництва. Як наслідок, протягом останніх віків технологія виробництва у своїх емпіричних дослідженнях [2] дійшла того висновку, що за попри великої кількості технологічних процесів необхідно є певна стабільність процесу як такого, незважаючи на його відмінності. Але наразі була можливість сформулювати подібну доктрину лише завдяки наявності системи мір та вантажів, які б надавали вхідні міри виміру того чи іншого процесу. Не вдаючись до глибокого аналізу, можна навести такі приклади як міри довжини, а саме цаль (*дюйм* – англ.), яка є частиною вказівного пальця (фаланги) або метр, який є одною сорокатишестю частиною Паризького меридіану. Обидві величини є суто емпіричні, тим не менш є обґрунтованими дюймовою та метричною систем метрології. Довести, що одна система краща за іншу просто неможливо, оскільки обидві є породженнями ірраціональної системи обчислення. Наявність таких ірраціональних чисел як  $\pi$  та  $e$  призводить до подвійності систем метрологічного обчислення та поняття раціональності як такої взагалі.

Отже, як що у основу вимірювання покласти такі ірраціональні числа, як  $\pi$  та  $e$  то виникає цілком слушне питання, як тепер називати раціональні числа. У загальному випадку вимірювання можна провести і за ірраціональної системи відліку, наприклад  $1\pi$ ,  $2\pi$ ,  $3\pi$ ... та  $1e$ ,  $2e$ ,  $3e$ .... За своєю точністю вони будують не гірші за реальний дюйм (2,54 мм) або метр (1000 мм), коли обидві величини за своєю точністю опираються на величину  $[S]$  [3].

Таким чином, для високоякісного технологічного результату необхідно мати сталі процеси. До того ж, існує думка про те, що нехай буде деяка похибка, але стала, яку є можливість врахувати. Подібний підхід у вирішенні проблеми призводить лише до того, що необхідний нам результат якості отримується з якимось фіксованим значенням похибки, тобто це просто новий процес, але вже з новим полем допуску та постави. Як наслідок, замість швидкого отримання результату отриму-

ється результат із додатком, тобто нам необхідно вирішувати задачу в задачі.

Окрім вище згаданих недоліків, необхідно зауважити, що система сучасної оцінки точності виконання того чи іншого розміру при його розрахунку абсолютно не враховує властивості матеріалів. Наприклад, при визначенні поля допуску того чи іншого розміру деталі абсолютно не приймають участі такі параметри матеріалів, як нормальне навантаження, тангенціальне навантаження, модуль Юнга та Гауса. Принаймні пошук відповідних залежностей на цей час не дав позитивних результатів [4, 5].

Для того, щоб отримати достеменний результат, проведемо аналіз точності, як фізичного явища, користуючись підґрунтям, що нам дають існуючі стандарти [4, 5] та фізичні засоби технології ТОНТОР [1].

### **Постановка задачі**

Отже, для початку розберемося з термінологією, яка буде застосовуватися у межах цієї статті. Наразі у роботі [5] мають пояснення стосовно похибки та точності. Таким чином, похибка за [5] визначена наступним чином: «При виготовленні виникають відхилення геометричних параметрів реальних деталей від ідеальних (запроектованих) значень. Ці відхилення називаються похибками». Визначення точності за [5]: «Ступінь наближення дійсних параметрів до ідеальних називається точністю». Точність характеризується дійсною похибкою (дійсна точність) або межами, які обмежують значення похибки (нормована точність). Чим вужчі ці межі, тим менше похибка, тим вища точність.

Точність деталей за геометричними параметрами є сукупним поняттям, яке розділяється за наступними ознаками:

1. Точність розмірів елемента;
2. Точність форми поверхні елементів (макрогеометрії поверхонь);
3. Точність шорсткості поверхні (мікрогеометрії);
4. Точність взаємного розташування елементів.

Окрім вище сказаного, необхідно додати такі основні поняття, як системи вала та отвору та відповідні їм поняття щілини та натягу з їх математичним підґрунтям. Система допусків та постав базується на теорії вірогідності [6], використовуючи як основний закон – закон розподілу Гауса (нормальний закон розподілу).

Перед тим, як розглянути методику застосування елементарної частки похибки  $[S]$ , необхідно навести сукупні параметри поверхні, що су-

проводжують процес вимірювання згідно технології ТОНТОР.

Перше зауваження стосується уявлення про технологічний об'єкт, як такий. В основі цього уявлення полягає теза, що кожний об'єкт має дві функції уявну та реальну. Уявна функція відповідає поняттю, номінального розміру у [7], але як приватний випадок, оскільки являє собою частку більш широкого поняття [8]. В основі цього поняття покладено теорію технологічного фантому (ТФ), який має чотири рівні (роди). Наразі ми будемо розглядати ТФ другого роду у вигляді уявної функції розміру.

При розгляді процесу вимірювання у технології ТОНТОР використовуються такі поняття, як панданна зона та дуальність поверхні [9]. На відміну від стандарту [5] саме ці параметри поверхні приймають активну участь у визначенні координат поверхні, тому для продовження дослідження приймаємо наступні позначки. Дуальність поверхні **D** є величина невизначеності координати поверхні в просторі, тобто стосовно допусків та постав це є похибки реалізації координати поверхні.

Дуальність є зв'язаною шорсткістю поверхні і має своє мінімальне значення висоти мікронерівностей і фактично зв'язку в одне ціле макро та мікрогеометрію об'єкту.

#### **Моделювання розмірної системи визначення розміру технологічного об'єкта**

На своїй межі дуальність нескінченно наближається до величини елементарної похибки, тобто

$$\lim \mathbf{D} \Rightarrow [\mathbf{S}]. \quad (1)$$

Технологічний процес отримання якогось розміру, хоч і є дискретним, тим не менш безперервним і у межах визначеного інтервалу часу може мати опис, як безперервна функція. Отже, у процесі цього інтервалу часу розмір змінюється від мінімального до максимального значення [8].

За необхідності виконання певного розміру конструктор, знаючи можливості свого технологічного обладнання та виробництва, задає розмір із відповідним допуском, тобто він закладає у креслениках фантом другого роду (ТФ2). Маючи уявну функцію розміру  $L(U)$ , у кресленику закладаються розміри  $L(U)_{\min} + \mathbf{D}$ , де уявний розмір  $L(U)$  знаходиться у межах

$$L(U)_{\min} \leq L(U) \leq L(U)_{\max}. \quad (2)$$

Таким чином, при переході від уявної функції (ТФ) до реальної розміри  $L(U)_{\min}$  та  $L(U)_{\max}$  є результатами зворотнього зв'язку з реальною функцією з її полем похибки [4]. Як наслідок, реалізація функції  $L(U)$  в реальну (дійсну) функцію  $L(R)$  викликає появу фантомних розмірів  $L(U)_{\min}$  та  $L(U)_{\max}$ , які необхідно реалізувати як  $L(R)_{\min}$

та  $L(R)_{\max}$ , які є реальними функціями і, до того ж, необхідно виконати умови

$$L(R)_{\max} - L(R)_{\min} = \mathbf{D}. \quad (3)$$

Через технологічні чинники отримання розміру  $L(R)$  він знаходиться в середині інтервалу **D**. До того ж, потрапити у цей інтервал лише у двох напрямках від  $L(R)_{\max}$  до  $L(R)_{\min}$  та від  $L(R)_{\min}$  до  $L(R)_{\max}$ . Наразі у реальному виробництві всіх цікавить саме ця ситуація, за якої при якомога більшому значенні **D** можна забезпечити низьку собівартість. Але проблема криється у тому, що, проектуючи технологічний процес, ми спираємось на уявну систему координат ТФ, яка не має похибок, а величини  $L(U)_{\min}$  та  $L(U)_{\max}$  є уявними, хоч і зорієнтованими на реальний процес. Як наслідок, вони не мають похибки і вимагають точного виконання, тобто дотримання цих розмірів теж вимагає точності у точності.

Отже, при переході з уявної системи координат до реальної наш уявний розмір потрапляє у поле похибок технологічного обладнання (рис. 1). Як наслідок, наш розмір отримує низку похибок, головна з яких – це мікропанданна зона шорсткості та хвилястості поверхонь [8, 9]. Товщина панданної зони визначається, як відстань між прилеглими поверхнями виступів і западин [5]. Стосовно обраних систем «вала» та «отвору» необхідно виділити наступні варіанти позначок із врахуванням кривизни поверхні:

- Для плоскої поверхні мікропанданна зона позначається – **p**;
- Для вигнутих назовні поверхонь мікропанданна зона позначається як **-[p]**;
- Для вигнутих до середини поверхонь мікропанданна зона позначається як **-p]**;
- Для мікропанданного вакууму зона позначається **- [p]**.

Відповідно для макропанданної зони ці параметри позначаються як **p**, **[p, p]**, **[p]**.

Мікропанданна зона має наступні параметри. По-перше, це функція, яка дає опис форми поверхні на макрорівні **F(x,y,z,t)**. По-друге, це максимальні та мінімальні значення функції **F(x,y,z,t)**, які визначають ширину панданної зони.

Відповідно до вищесказаного маємо можливість сформулювати поняття щілини та натягу. Згідно класичного уявлення про щілину в уявній системі координат, це є різниця двох фантомів як полишена похибки, тобто

$$D_{00}(U) = L_0(U) - L_1(U) \quad (4)$$

і є фантомом щілини.

Реальна щілина визначається як

$$D_{00}(R) = L_0(R) - L_1(R). \quad (5)$$

Натяг в уявній системі координат визначається як

$$D_{11}(U) = L_1(U) - L_0(U) \quad (6)$$

і є фантомом натягу.

Реальний розмір натягу визначається як

$$D_{11}(R) = L_1(R) - L_0(R), \quad (7)$$

де  $D_{00}(U)$  – уявний розмір щілини;

$D_{00}(R)$  – реальний (дійсний) розмір щілин, отриманий при вимірюванні;

$D_{11}(U)$  – уявний розмір щілини;

$D_{11}(R)$  – реальний (дійсний) розмір натягу, отриманий при вимірюванні;

$L_0(U)$  – уявний розмір отвору;

$L_0(R)$  – реальний (дійсний) розмір отвору;

$L_1(U)$  – уявний розмір вала;

$L_1(R)$  – реальний (дійсний) розмір вала.

Вирази (5, 7) є аналогом відповідних виразів з [5]. Недоліком цих функцій є те що вони є прямими.

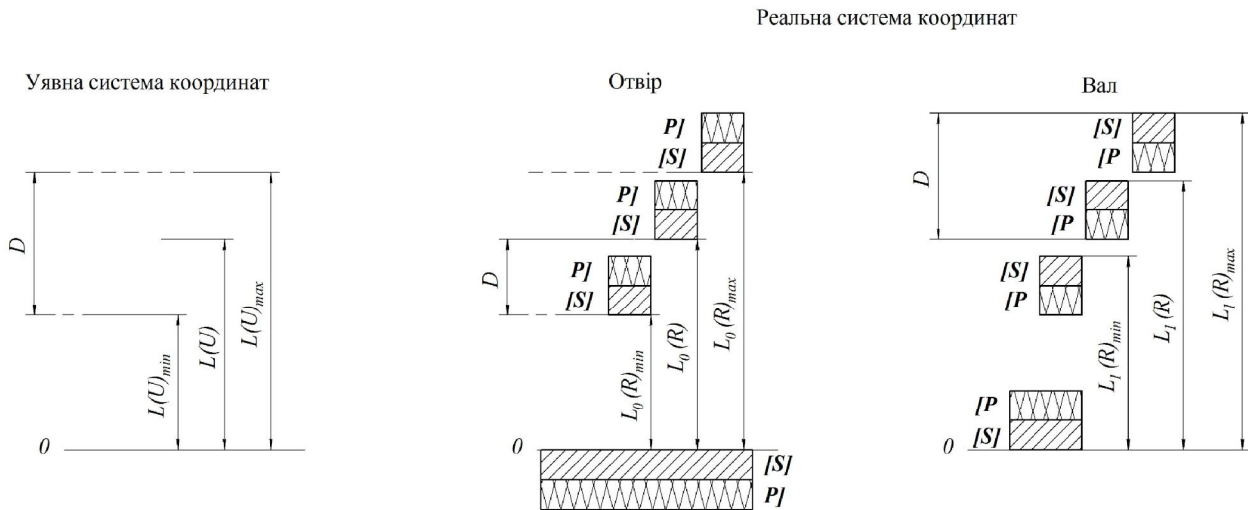


Рис.1. Зв'язок уявної та реальної систем координат з елементарною похибкою [S] панданною зоною p та дуальністю D.

Перенесенням уявних функцій (4) та (6) у реальний простір без врахування особливостей утворення кожного розміру (рис. 1), при цьому не враховується панданна зона шорсткості та хвилястості [p для вала і p] для отвору. У такому випадку реальна щілина (вимірна) буде мати наступний розмір

$$D_{00}(R) = L_0(R) - L_1(R) - (p)_0 - [p_1] + [S] \quad (8)$$

і для натягу

$$D_{11}(R) = L_1(R) - L_0(R) - ([p_1 - p]_0) + [S]. \quad (9)$$

У виразі (8) доволі типова ситуація, коли панданна зона об'єкту схильна до розширення і не створює побічних явищ, (дужки розгорнуті у різні боки). А от для натягу ситуація характерна тим, що вираз (9) може записуватися через панданний вакуум, тобто

$$D_{11}(R) = L_1(R) - L_0(R) - ([p_1 p]_0) + [S]. \quad (10)$$

Різниця  $[p]_0 - [p_1]$  та  $[p_1 - p]_0$  ніколи не можуть бути рівними нулю та рівними між собою, тобто

$$0 \neq [p]_0 - [p_1] \neq [p_1 - p]_0 \neq 0. \quad (11)$$

Межа цих величин дорівнює [S]

$$\lim([p]_0 - [p_1]) \vee [p_1 - p]_0. \quad (12)$$

Панданний вакуум ніколи не дорівнює нулю

$$\lim[p_1 - p]_0 \rightarrow [S]. \quad (13)$$

Явище панданного вакууму завжди виникає, коли необхідно мати потужне з'єднання двох деталей. У таких випадках завжди існує явище натягу та пов'язане з ним виникнення замкнених просторів третього середовища. Ліквідувати це явище неможливо тому, що воно супроводжує процес натягу аж до атомарного рівня, це підтверджується і теоретичними розвідками, і експериментальними роботами.

Особливу увагу в роботі [5] приділяється класифікації похибок. Наразі виділяється три таких групи. До першої групи відносять систематичні сталі похибки, які мають однакові числові значення до всієї розглядаємої партії деталей (розмірів), які зберігають постійні значення під час виготовлення. До таких похибок необхідно віднести точність налагодження верстата, а радше точність виконання технологічних процесів, але без впливу зносу інструмента.

До другої групи відносяться систематичні сталі похибки, які закономірно змінюються згідно ходу технологічного процесу. До таких похибок відноситься знос радіального інструменту та температурний дрейф системи обробки. Наразі ці зміни мають певну закономірність, хоч і є емпіричними.

До третьої групи відносяться випадкові похибки або похибки розсіяння, які викликані дією чинників, що коливаються за випадковим принципом. У загальному плані це є процеси, які відбуваються поза межами технологічної зони процесу, але мають на нього вплив, наприклад, збій енергосистеми або землетрус.

У реальному виробництві всіх більше цікавить друга група похибок. Перша є малоцікавою тому, що на визначений технологічний процес встановлюється один раз на визначену деталь або розмір. Третя група маловживана через свою рідкість. Найбільш дошкульна є друга група, оскільки має безпосередній вплив на розмір елементу деталі, який нас цікавить. Боротьба у всьому світі з цією похибкою однакова. Вважається, що знос інструменту можна розглядати як лінійну функцію типу  $y = kx$ . Водночас, знос впливає як на збільшення, так і на зменшення розміру. Тепловий дрейф верстата можна лінеаризувати у невеликому інтервалі температур, але, тим не менш, вони йдуть на створення термостабільних приміщень для верстатів.

Однак усі ці методи програють у порівнянні з визначенням координати торкання інструменту до деталі з високою точністю (технологія ТОНТОР) [9, 10]. Ця методика дозволяє працювати від поверхні і комплектувати усі три групи помилок. Тим не менш для дослідження точності виготовлення деталей скористаємося загальновизначеною методикою [11, 12]. Водночас, центр зосередження або середнє арифметичне значення розглядаємого розміру групи деталей ( $n$ ) (наприклад, діаметр вала) визначається як

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}, \quad (14)$$

де  $d_1, d_2, \dots, d_n$  - реальні розміри деталей.

Якщо ми використовуємо тезу лінійного зростання похибки, то розмір кожної наступної деталі буде збільшуватися для вала і зменшуватися для отвору. Водночас, перший розмір  $d_1$ , можна вважати опорним за технологічними умовами виготовлення, оскільки перша деталь є та, яка при виготовленні потрапила до поля допуску. До того ж, для вала це є мінімальний діаметр, а для отвору – максимальний. Тобто за технологічними умовами ми сприймаємо її як таку, що задовольняє нас, оскільки потрапила у зону дуальності, а будь-який  $i$ -й розмір можна відобразити як

$$\begin{aligned} d_i &= d_1 + n\Delta & - \text{для вала} \\ d_i &= d_1 - n\Delta & - \text{для отвору.} \end{aligned} \quad (15)$$

Таким чином, вираз для середнього (14) приймає вигляд

$$\bar{d}_1 = \frac{d_1 + (d_1 + \Delta) + (d_1 + 2\Delta) + \dots + (d_1 + (n-1)\Delta)}{n} \quad (16)$$

або після низки перетворень

$$\bar{d}_1 = \frac{nd_1 + \Delta[(n-1)^2 - n]}{n} \quad (17)$$

для вала і

$$\bar{d}_1 = \frac{nd_1 - \Delta[(n-1)^2 - n]}{n} \quad (18)$$

для отвору.

Середнє квадратичне відхилення випадкового значення параметру від центру групування, який характеризує відхилення реального розміру [11, 12]

$$\sigma = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}}, \quad (19)$$

де  $x_i$  - відхилення випадкового значення від центра групування:

$$x_1 = d_1 - \bar{d}, x_2 = d_2 - \bar{d}$$

і так далі.

У реальному виробництві за прийнятих раніше лінійного зносу вираз (19) має дещо інакший вигляд.

Функція відхилення від середнього розміру при цьому приймає вигляд  $y = |n\Delta|$ , тобто  $x_i = |n\Delta|$ , де  $n$  змінюється відносно центру угруповання у межах  $\pm \frac{n}{2}$ .

Користуючись властивостями функції модуля, маємо можливість вираз (19) переписати у наступному вигляді

$$\sigma = \sqrt{2 \frac{\left(\frac{n}{2}\Delta\right)^2 + \left[\left(\frac{n}{2}+1\right)\Delta\right]^2 + \left[(n-1)\Delta\right]^2}{n}} + [S] \quad (20)$$

або після  $n$

$$\sigma = \sqrt{\frac{n-2}{2}} + [S]. \quad (21)$$

Отже, як бачимо з виразів (14, 16, 17, 18, 19, 20, 21), всі величини нам відомі і все обчислюється без особливих проблем. Таким чином постає питання, навіщо нам всі ці обчислення? Адже на реальному виробництві нікого не цікавить середній статистичний розмір або середнє квадратичне відхилення, а тим більш закон нормального розподілу. На будь-якому виробництві головне, щоб визначений розмір потрапив у поле допуску і абсолютно не цікавить, що відбувається у межах цього поля. Для цього на виробництві існує система калібрів "прохід" - "перехід", які визначають гідна деталь чи брак.

Досліджувати причини неточності виготовлення розміру починають лише у тому випадку коли не вдається отримати належний розмір та й то, не використовуючи теорію вірогідності. Як правило, подібні проблеми визначаються низкою чинників, технологічного характеру. Характер цих чинників та послідовність їх дії добре відомі без

теорії вірогідності [6]. Наразі велика кількість фірм, які випускають в металообробний інструмент, намагаються не стільки підвищити його стійкість, скільки стабілізувати характеристики зносу. У такому разі інструмент отримує паспортні дані з відомими залежностями зносу на визначених інтервалах часу та значно підвищена стабільність точності виготовлення.

У зв'язку з розглянутою ситуацією звернемося до нормального закону розподілу (крива Гауса), який є засадним у системі допусків та постав

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right). \quad (22)$$

Якщо у вираз (22) підставити значення  $\sigma$  з (21), то отримуємо після низки перетворень наступну щільність випадкової похибки

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \left( \Delta \sqrt{\frac{n-2}{2}} + [S] \right)} \exp\left(-\frac{n^2}{n-2}\right). \quad (23)$$

Досить спрощеного погляду, щоб побачити його обмеженість. Так, наприклад, для випадку  $n=2$  вираз дає значення необмеженої щільності похибки, а для  $n=1$  вирішується як комплексна функція. Ця функція спрацьовує лише в одному випадку, якщо деталь незалежно від порядку виготовлення розкласти за законом нормального розподілу.

Для біологічних об'єктів цей закон теж має свою інтерпретацію. Так, наприклад, птахи несуть яйця у невеликій кількості. Водночас, геометрична різниця між ними менша за величину  $[S]$ , тобто йдеться про два – три яйця, якраз у межах критичної кількості, як було згадано вище. Для комах цей показник дорівнює тисячам і десяткам тисяч яєць, але різниця у розмірах не більше за  $[S]$ . За таких умов вираз (22) отримує наступний вигляд

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}[S]} \exp\left(-\frac{1}{2}\right). \quad (24)$$

Величина  $[S]$  набагато менша за  $\sigma$ , оскільки є мірою точності її визначення. Аналогічна ситуація є у виробництві, коли кількість деталей з допуском  $<[S]$  вираховується мільйонами, наприклад виготовлення різного кріплення (протяжки, шпилі, мутри, тощо). У цьому випадку поле допуску стискається до меж величини  $[S]$  тобто

$$\lim D \leq [S]. \quad (25)$$

Особливо це стосується випадків, коли застосовується технологія ТОНТОР, яка забезпечує точність  $[S]$  вищу за будь-яке металообробне обладнання. Водночас, такі поняття як (17), (18) та (22), (23) взагалі втрачають будь-який сенс. Наразі точність виготовлення координат коливається у межах  $2\div 3[S]$  та і то тому, що на заводі стає панданна зона поверхні [7].

Проблема того, що існує вельми невизначена система допусків та постав, яка на засадах теорії вірогідності створюється тому, що між фантомом деталі та її реальністю існує низка технологічних процесів, котрі мають розімкнене технологічне коло виготовлення. Незамінність технологічних систем призводить до появи накопичувальної похибки. Як наслідок, необхідно розглядати векторну суму, а не звичайну алгебраїчну, яка є сумою проєкцій на одну координату. Фактично закон нормального розподілу (22) являє собою дрейф верхівки технологічного вектора. Достатньо перевести експоненту функції у комплексний вектор. До речі, такий варіант розглядається у [4] за досить спрощеного вигляду.

Усіх цих недоліків полишені системи із замкненими технологічними контурами (технологічна обробна система), такими як засоби технології ТОНТОР та Daishowa Seiki [9, 10]. У такому полі допусків та постав отримують дещо інший вигляд (рис. 2).

На відміну від традиційної системи допусків та постав з незамкненим технологічним контуром (рис.2, а,б) у замкненій технологічній системі різниця між розмірами суворо визначена величиною  $[S]$ , тобто:

для отвору

$$D_{\max} - D_{\min} = -[S] \quad (26)$$

і для вала

$$d_{\max} - d_{\min} = [S].$$

На відміну від традиційної системи визначення допусків у замкненій системі нульова лінія має своє поле у розмірі  $[S]$ . Також поле допуску має нуль відліку на відміну від традиційної системи (Рис. 2, в,г).

Наразі замкнена система виробництва має ще одну характерну рису розташування поля похибки, яка розрізняє систему вала та отвору.

Отже, на протяжні поля допуску відбивається головний принцип позитивно – негативних технологій, а саме похибку розміру спрямовано у бік знищення залишкового матеріалу або його нарощування. Таким чином, всі похибки для отворів спрямовані у бік знищення надлишкового матеріалу. Для вала маємо іншу ситуацію, коли похибки спрямовані у бік знищення матеріалу деталі.

### **Висновки**

Отже, у статті розглянуто зв'язок між уявними та реальними розмірами. Водночас, уявна функція є технологічним фантомом, який існує сам по собі і перетворюється у реальну функцію за нашим бажанням (технологічний процес). Оскільки ТФ у цьому випадку не є елементом прямої дії, а лише зразком для відтворення, то низка проміжних ТФ, які мають реальну силову компоненту і складаються, як визначені вектори технологічної діаграми, то при з'єднанні вони мають розриви, що призводить до певної неточності реалізації реальної

функції. У деяких випадках такі функції можуть мати розриви першого та другого роду. Як наслідок, ми отримуємо неточну реалізацію нашого розміру.

Для оцінювання таких розходжень була вироблена система допусків та постав з метою підвищення точності. Тим не менш, ця система зі своїм математичним апаратом не виправдовує себе. Так, у випадку замкнених технологічних виробництв точність отримання будь-якого розміру є не більш

за величину елементарної частки похибки  $[S]$ , і тоді система допусків і постав практично втрачає будь-який сенс, хіба що за розрахунок процесу натягу.

Подальші науково-дослідні розвідки спрямовані на створення теоретичних засад засобів технології ТОНТОР, що призначені для підвищення точності прецизійних технологічних процесів обробки в умовах автоматизованого виробництва.

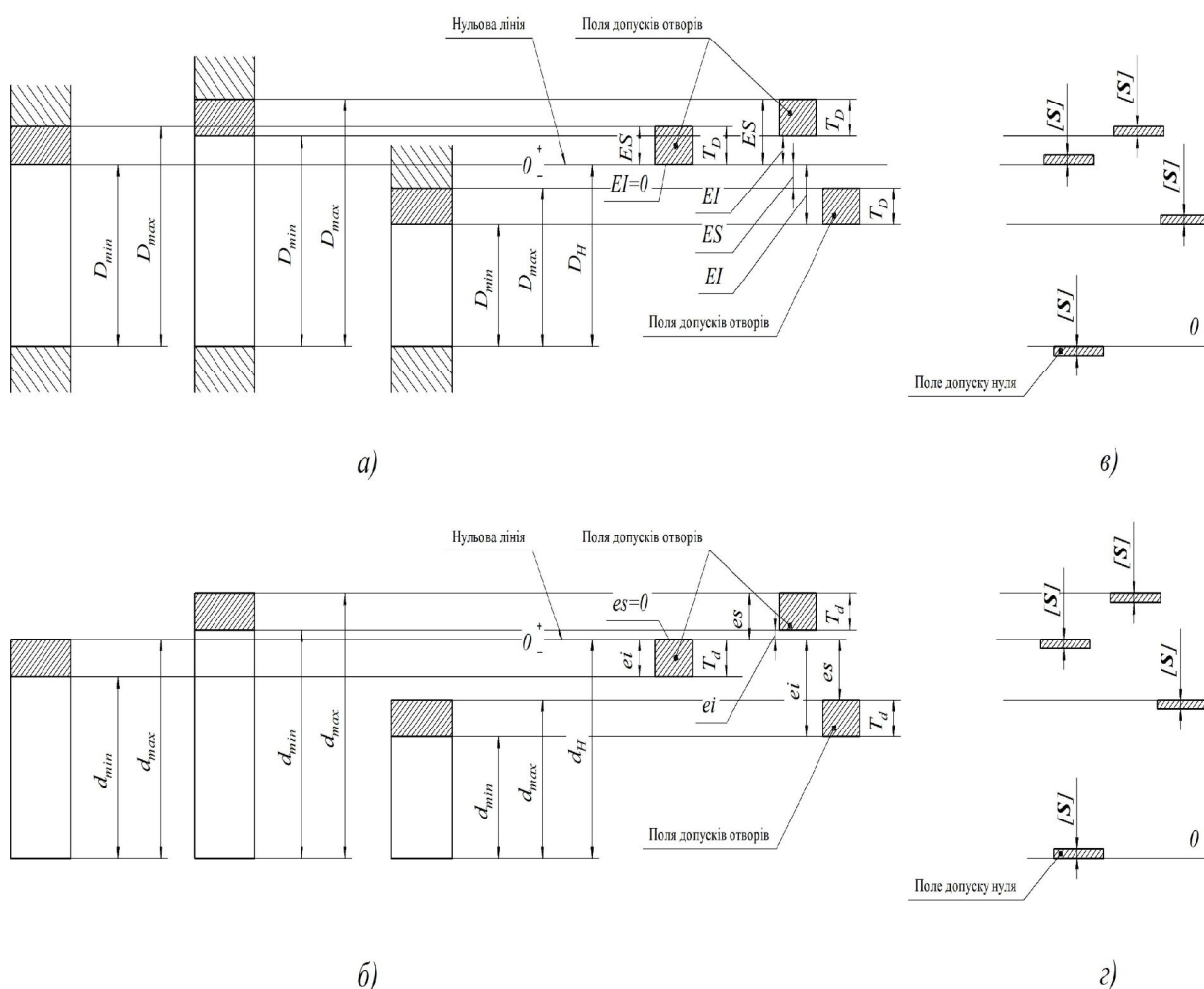


Рис. 2. Замкнена та незамкнена система виробництва, де: а) система отворів у незамкненій технологічній системі; б) система валів у незамкненій технологічній системі; в) система отворів у замкненій технологічній системі; г) система валів у замкненій технологічній системі.

### Література

1. Фізичні засади технології ТОНТОР: монографія / В. І. Скицюк, Г. С. Тимчик, М. А. Вайнтрауб, Т.Р. Клочко. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 352 с.
2. Пипуныров В. Н. История часов с древнейших времен до наших дней. – М.: Наука, 1982.
3. Скицюк, В. І. Елементарна частка похибки // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – 2016. – Вип. 76. – С. 121-125.
4. Дунаев П. Ф. Расчет допусков размеров. 4-е изд. перераб. и доп. / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – М.: Машиностроение, 2006. – 400 с., ил.
5. Мягков, В. Д. Допуски и посадки: Справочник в 2-х частях [Текст] / В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский; 5-ое изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отд., 1978. – 544 с., ил.
6. Боровков А. А. Курс теории вероятностей. – М.: Наука, Главн. ред. физ.-мат.лит., 1972. – 288 с. с ил.
7. Панданна зона мікро- та макроповерхні технологічних об'єктів. Частина 2 / В. І. Скицюк – Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2011. Вип. 42. – С. 85 – 91.

8. Гаврилов А. Н. Точность производства в машиностроении и приборостроении / А. Н. Гаврилов. – М.: Машиностроение, 1973. – 567 с.
9. Засоби контролю процесів механообробки надточних деталей: монографія / В. І. Скицюк, Г. С. Тимчик, М. А. Вайнтрауб, Т. Р. Ключко. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 516 с., іл.
10. DAISHOWA SEIKI CO., LTD. FA Dept. Catalog, N 51, 52, 53, 63, 68. 1998.
11. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – 13-е изд., исправленное / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.
12. Andre Angot, COMPLEMENTS DE MATHEMATIQUES à l'usage des ingénieurs de l'électrotechnique et des télécommunications, Paris, (1957), 778.

УДК 620.179.14

**В. І. Скицюк, Т. Р. Ключко**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ФАНТОМА ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

### Введение

В предшествующих авторских работах рассматривались пространственные элементы технологического объекта как доли отсчета размеров в технологических процессах измерения. Однако требования реального производства заключаются в повышении точности изготовления прецизионных деталей при обеспечении точности геометрических и физико-химических параметров.

### Основная часть

В предлагаемой статье рассмотрен ряд проблем, связанных с преобразованием воображаемого размера в реальный, не рассматривая при этом сам процесс образования необходимого размера. В то же время, сам процесс образования необходимого размера рассматривается как реализация фантома второго рода.

Поскольку между мнимым и реальным размерами существует связь только через теорию вероятности, то рассматривается ряд проблем с определением точности получаемого размера. Для этого в систему допусков и вводится величина элементарной частицы погрешности и дуальности поверхности, которые предоставляют возможность решить ряд проблем, касающихся обеспечения задач производства.

### Выводы

В статье рассмотрена связь между мнимыми и реальными размерами. В то же время, мнимая функция технологическим фантомом, который существует сам по себе и превращается в реальную функцию по нашему желанию (технологический процесс). Поскольку технологический фантом в этом случае не является элементом прямого действия, а только образцом для воспроизведения, то ряд промежуточных технологических фантомов, которые имеют реальную силовую компоненту и состоят, как определенные векторы технологической диаграммы. Поэтому при соединении они имеют разрывы, что приводит к определенной неточности реализации реальной функции.

Введение величин элементарной частицы погрешности и дуальности в закон нормального распределения Гаусса позволяет связать в одно целое мнимые и реальные размеры объекта.

**Ключевые слова:** элементарная частица, погрешность, дуальность, панданная зона, закон Гаусса.

**V. Skytsiuk, T. Klotchko**

*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

## INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PHANTOM OF DETAILS ACCURACY OF PRODUCTION IN INSTRUMENT MAKING

### Introduction

In the previous series of author's articles the spatial elements of the technological object were considered as a fraction of the dimension count in the technological measurement processes. However, the requirements of real production consist in increasing the precision of manufacturing precision parts while ensuring the accuracy of geometric and physics and chemical parameters.

### Main part

Proposed article deals with a number of problems related to the conversion of an imaginary size to a real one, without considering the process of formation of the required size. At the same time, the process of formation of the necessary size is considered as the realization of a phantom of the second kind.

Since there is only a connection between imaginary and real dimensions through probability theory, a number of problems are considered with the determination of the accuracy of the resulting size. To do this, the system of



tolerances also introduces the magnitude of the elementary particle of the error and duality of the surface, which provide an opportunity to solve a number of problems relating to the provision of production tasks.

**Conclusions**

The article considers the relationship between imaginary and real dimensions. At the same time, the imaginary function is a technological phantom that exists by itself and turns into a real function at our request (technological process). Since the technological phantom in this case is not an element of direct action, but only a model for reproduction, a number of intermediate technological phantoms that have a real power component and consist, as certain vectors of the technological diagram. Therefore, when connected, they have discontinuities, which leads to a certain inaccuracy in realizing the real function.

The introduction of the values of the elementary particle of error and duality into the law of the normal Gaussian distribution makes it possible to link the imaginary and real dimensions of the object into one whole.

**Keywords:** elementary particle, error, duality, Pandan zone, Gauss law.

*Надійшла до редакції  
08 квітня 2017 року*

*Рецензовано  
20 квітня 2017 року*

© Скицюк В. І., Клочко Т. Р., 2017  
DOI: 10.20535/1970.2017.53.1.011