

# Изследване на постоянството на виртуалната базова ос при измерване на отклоненията на формата и разположението на ротационни детайли

маг. инж. Велизар Василев<sup>1)</sup>, проф. д.т.н. Христо Радев<sup>2)</sup>,  
доц. д-р Васил Богев<sup>3)</sup>, маг. инж. Ивайло Благов<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Технически университет – София, vassilev\_v@tu-sofia.bg

<sup>2)</sup> Технически университет – София, hradev@tu-sofia.bg

<sup>3)</sup> Технически университет – София, bogev@tu-sofia.bg

<sup>4)</sup> Технически университет – София, ivailoblagov@abv.bg

*Резюме:* Изследва се влиянието на блуждаещото биене върху непостоянството на виртуалната базова ос при измерване на отклоненията на формата и разположението на голямогабаритни ротационни детайли. Изследването се базира на симулация, като се варира с амплитудата на блуждаещото биене, броя и разположението на точките, в които то се проявява и общия брой на измерените точки от профила на детайла. Резултатите са предпоставка за оптимизиране на прилаганите схеми на измерване.

*Ключови думи:* отклонение на формата и разположението, виртуална базова ос, голямогабаритни детайли

## 1. Въведение

Измерването на отклонението на формата и разположението на повърхнините и осите на голямогабаритни ротационни детайли е изключително тежък метрологичен проблем, поради големите маса и габарити на детайлите и практическата неприложимост на класическите схеми на измерване.

Този проблем се решава успешно чрез привеждане на резултатите от радиалното и челно биене към виртуална изходна база – виртуална базова ос, представляваща права, преминаваща през центроидите<sup>1</sup> на точките от мигновените оси на въртене в сеченията на две гривни, закрепени към крайните челни повърхнини на детайла, приблизително съосно на геометричната му ос.

В общ случай радиалното биене включва следните съставки:

- отклонението от кръглост на профила в измерваното сечение;
- ексцентрицитета на центъра на апроксимирана окръжност на

измервания профил спрямо оста на въртене;

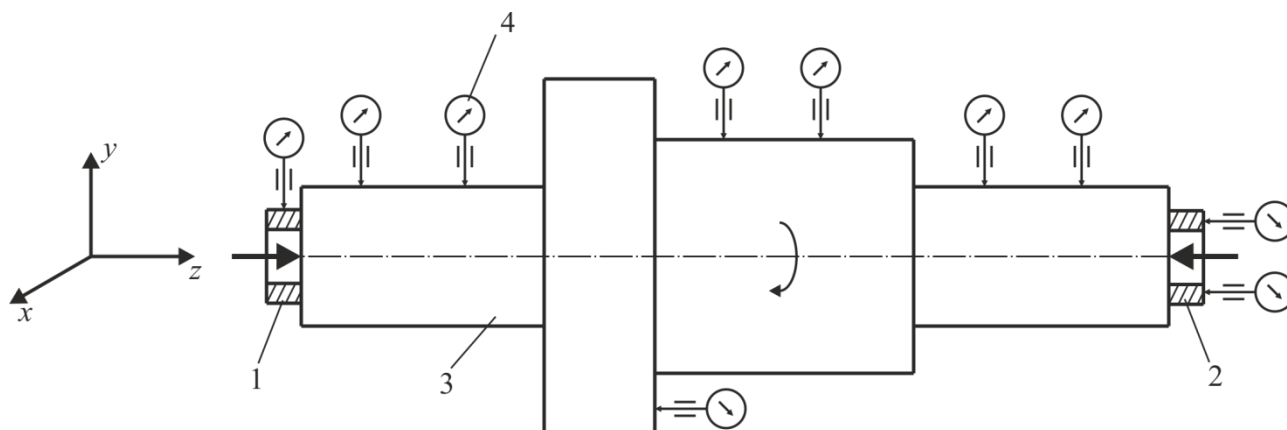
- блуждаещото биене в радиално направление;

Челното биене включва следните съставки:

- отклонението от равнинност на измервания профил на съответната челна повърхнина по зададен радиус;
- отклонението от перпендикулярност на апроксимирана равнина на измерения по зададен радиус профил спрямо оста на въртене;
- осово блуждаещо биене (непостоянство на осовото положение на детайла при въртеливото му движение);
- съставка, свързана с неуспоредността на мигновените оси на въртене в резултат на радиалното блуждаещо биене, респективно на перпендикулярните на тях равнини, изпълняващи ролята на мигновени изходни бази.

<sup>1</sup> Центроид – точка с координати средноаритметични на координатите на точките, спрямо които той се определя.

Схемата на измерване е показана на фиг. 1. При завъртане на детайла 3 с помощта на измервателните глави 4, едновременно се измерва биенето в съответните сечения на еталонните гривни 1 и 2 и детайла 3.



Фиг. 1 Схема на измерване с виртуална базова ос

Необходимостта от едновременно измерване на биенето води до увеличаване на броя на измервателните преобразуватели, броя на измервателните канали в отчитащите уреди и усложнява схемата на измерване и измервателната екипировка, особено при реализирането ѝ в цехови условия, непосредствено на металорежещата машина при обработката на детайла.

Целта на настоящото изследване е да се оцени влиянието на случайната съставка на радиалното блуждаещо биене, с оглед опростяване и оптимизация на схемите на измерване.

## 2. Постановка на задачата

Ексцентрицитетът, отклонението от кръглост на измервания профил и систематичната съставка на блуждаещото биене не се променят при повторни измервания – следователно не влияят върху постоянството на положението на центроидите в съответните напречни сечения. Влияещият фактор е случайната съставка на блуждаещото биене. Това влияние може да бъде оценено като непостоянство на центъра на асоциираната средна окръжност при измерване на отклонението от кръглост.

Резултатите от измерването се привеждат към нова виртуална ос, а резултатите от челното биене – към равнина, перпендикулярна на виртуалната базова ос, чрез въвеждане на поправки, изключващи влиянието на блуждаещото радиално и осево биене.

При отсъствие на ексцентрицитет, отклонение от кръглост и систематично блуждаещо биене, оцененото отклонение от кръглост при измерване на даден профил отразява единствено случайното блуждаещо биене. Това позволява, чрез задаване на различни профили (отклонения от кръглост) да се симулира случайно блуждаещо биене и да се оцени неговото влияние върху постоянството на положението на центроида в използваната координатна система.

## 3. Изследване

При изследването блуждаещото биене се задава като отклонение от кръглост в съответните точки на измервания профил. Стойностите се задават като реални случайни числа. [1]

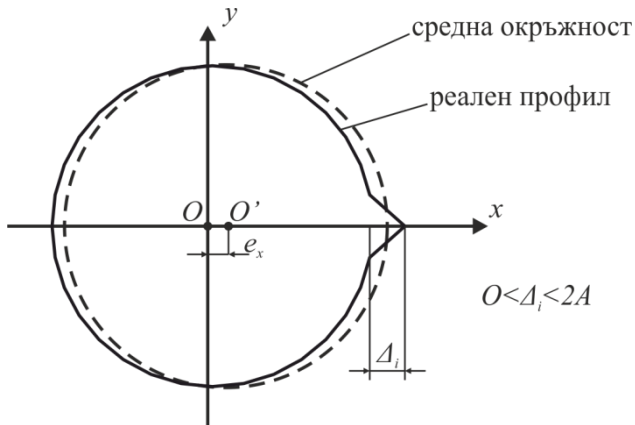
Варира се със следните фактори:

- амплитудата на блуждаещото биене (като интервал на изменение на  $E_{FK}$ )  $A$ ;
- разположението на отклоненията по окръжността на профила;
- броя на измерваните точки от профила  $m$  (включително и тези, имащи нулеви отклонения);

- броят и разположението на точките, в които се проявява блуждаещо биене –  $n$ ;
- броят на сериите измервания  $p$  (при всяко ново измерване отклоненията имат случайна стойност в границите на зададената амплитуда)

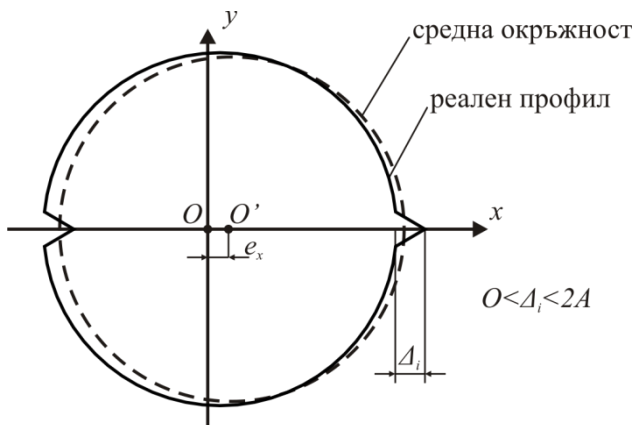
Разгледани са следните случаи:

1. Наличие на блуждаещо биене в една екстремна точка (фиг. 2).



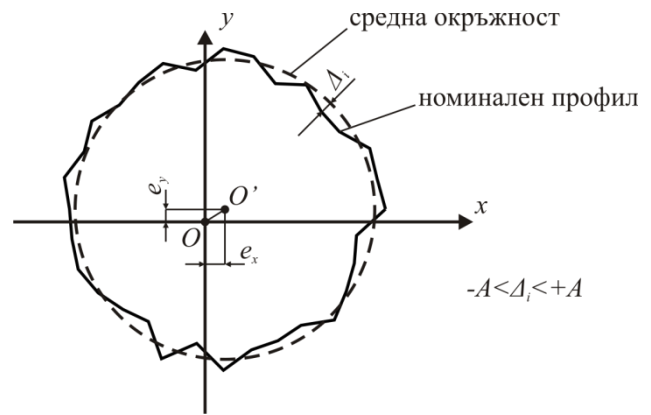
Фиг. 2 Отклонение от кръглост (блуждаещо биене) в една екстремна точка

2. Наличие на блуждаещо биене в две екстремни точки (фиг. 3).



Фиг. 3 Отклонение от кръглост (блуждаещо биене) в две екстремни точки

3. Наличие на блуждаещо биене в равномерно и произволно разположение и различен брой точки (фиг. 4)



Фиг. 4 Отклонение от кръглост (блуждаещо биене) в произволен брой неравномерно разположени точки от профила

Отклоненията от кръглост, респективно блуждаещо биене се задават, като случайни числа, при следните параметри:

$A$  – амплитуда:

$A = \pm(10, 20, 40, 60, 80 \text{ и } 100) \mu\text{m}$ .

$n$  – брой на точките с отклонение от кръглост (блуждаещо биене):

$n = 1$  до 512.

$m$  – брой на точките, участващи в изчисленията на  $e_x$  и  $e_y$ , включително и тези с нулеви отклонения:

$m = 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 \text{ и } 512$ .

$p$  – брой на повторените реализации на блуждаещото биене при зададена амплитуда и брой и разположение на точките:

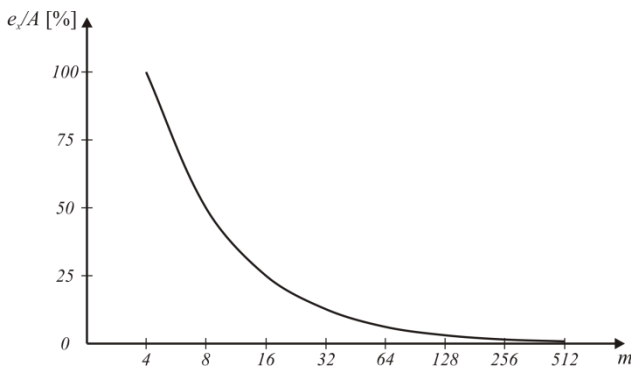
$p = 1$  до 10.

Разгледа ни са общо 976 комбинации на посочените параметри.

Анализът на този масив от данни показва следното:

1. Стойностите на  $e_x$  и  $e_y$  (проекциите на ексцентрицитета на центъра на средната окръжност  $O'$ ) нарастват пропорционално на амплитудата на задаваните отклонения (блуждаещо биене) и, в зависимост от броя и разположението на точките, в които се проявява блуждаещото биене, отношенията  $e_x/2A$  [%] и  $e_y/2A$  [%] при  $m=128$  не надхвърлят съответно 3.8% за  $e_x$  и 6.2% за  $e_y$ .
2. Стойностите на  $e_x$  и  $e_y$  намаляват с увеличаването на броя  $m$  на точките, участващи в изчисляването им,

включително и на точките с нулеви отклонения (виж фиг. 5).



Фиг. 5 Зависимост на отношението  $e_x/A$  в зависимост от броя на точките  $m$ , участващи в изчисленията (за случая от фиг. 3)

Максималните стойности на отношенията  $e_x/2A$  и  $e_y/2A$  в общ случай (при различен брой и разположение, в които се проявява блуждаещото биене) в зависимост от  $m$  са дадени в табл. 1.

Табл. 1

$m$	4	8	16	32
$e_x/2A$ [%]	50	41	24	15
$e_y/2A$ [%]	53	35	20	24
$m$	64	128	256	512
$e_x/2A$ [%]	7,6	3,8	1,9	1,2
$e_y/2A$ [%]	12,4	6,2	3,1	1,5

Отношенията  $e_{x1}/A$  и  $e_{x2}/A$  в екстремните случаи съответно на фиг. 2 и 3 са дадени в табл. 2.

Табл. 2

$m$	4	8	16	32
$e_{x1}/A$ [%]	50	25	12,5	6,3
$e_{x1}/A$ [%]	100	50	25	12,5
$m$	64	128	256	512
$e_{x2}/A$ [%]	3,1	1,6	0,8	0,4
$e_{x2}/A$ [%]	6,3	3,1	1,6	0,8

3. При многократни случайни реализации на блуждаещото биене при зададена амплитуда, брой и разположение на точките, в които се

то се проявява, отношението  $\sigma_{ex}/2A$  и  $\sigma_{ey}/2A$  в зависимост от  $m$  е дадено в табл. 3.

Табл. 3

$m$	4	8	16	32
$\sigma_{ex}/2A$ [%]	17,3	11,6	7	3,7
$\sigma_{ey}/2A$ [%]	12,9	9,3	6,6	4,9
$m$	64	128	256	512
$\sigma_{ex}/2A$ [%]	1,9	1	0,6	0,3
$\sigma_{ey}/2A$ [%]	2,5	1,3	0,7	0,4

### 3. Заключение:

Получените резултати от изследването показват, че случайното блуждаещо биене при оптимален (достатъчен) брой измерени точки от профила на детайла не оказват съществено влияние върху постоянството на положението на центроида на мигновените оси на въртене респективно на виртуалната базова ос. Това дава основание за разработване на схеми на измерване спрямо виртуална базова ос при неедновременно измерване на радиалното биене в съответните сечения.

### Литература:

1. RANDOM.ORG – True Random Number Service, <http://www.random.org/>
2. Радев Хр., „Метод за измерване на отклоненията на формата и разположението на повърхнините и осите на ротационни детайли спрямо виртуална базова ос“ (Патент №65461 В1 от 27.10.2008)

### Данни за авторите:

**маг. инж. Велизар Василев.** Машинен инженер – „Управление на качеството“ (2009). Асистент (2010)

кат. „Прецизна техника и уредостроене“, Машиностроителен факултет – ТУ-София.

Интереси: Управление на качеството, Метрология и метрологично осигуряване.

**проф. д.т.н. Христо Радев.** Машинен инженер - „Прибори на точната механика“, СТАНКИН – Москва (1965), к.т.н. (1974), доцент (1976), д.т.н. (1995), професор (1997), кат. „Прецизна техника и уредостроене“, Машиностроителен факултет – ТУ-София.

Интереси: Метрология и метрологично осигуряване, Управление на качеството.

**доц. д-р Васил Богев.** Машинен инженер - „Технология на машиностроенето” (1980). Научен сътрудник (1982), Асистент (1985), доктор (1999).

кат. „Прецизна техника и уредостроене”, Машиностроителен факултет – ТУ-София.

Интереси: Метрология и метрологично осигуряване, Управление на качеството.

**маг. инж. Ивайло Благов.** Машинен инженер – „Прецизна техника и уредостроене“ (2005), Асистент (2008), Гл. асистент (2011).

кат. „Прецизна техника и уредостроене”, Машиностроителен факултет – ТУ-София.

Интереси: Метрология и метрологично осигуряване.

## **A Research on the Constancy of the Virtual Datum Axis While Measuring the Form and Position Deviations of Rotation Parts**

*Velizar Vassilev MEng<sup>1)</sup>, Prof. Hristo Radev DSc<sup>2)</sup>,  
Assoc. Prof Vasil Bogev PhD<sup>3)</sup>, Ivailo Blagov MEng<sup>4)</sup>*

<sup>1)</sup> Technical University of Sofia, vassilev\_v@tu-sofia.bg

<sup>2)</sup> Technical University of Sofia, hradev@tu-sofia.bg

<sup>3)</sup> Technical University of Sofia, bogev@tu-sofia.bg

<sup>4)</sup> Technical University of Sofia, ivailoblakov@abv.bg

*Abstract:* The research is on the impact of roving beat on inconsistency of the virtual datum axis when measuring the deviations from the form and position of large rotational parts. The study is based on a simulation, varying the amplitude of the roving run-out, the number and position of points at which it occurs, and the total number of measured points of the profile of the piece. The results are steps leading to optimization of the used measurement schemes.

*Keywords:* deviation from form and position, virtual datum axis, large rotation parts