

# ИЗМЕРВАНЕ НА ДИАМЕТРИ НА ГОЛЯМОГАБАРИТНИ ВАЛОВЕ

*Христо Радев*<sup>1)</sup>, *Васил Богев*<sup>2)</sup>, *Велизар Василев*<sup>3)</sup>, *Никола Панчев*<sup>4)</sup>,  
*Милко Джамбазов*<sup>5)</sup>, *Алексей Волошин*<sup>6)</sup>, *Игорь Надуев*<sup>7)</sup>,  
*Вадим Самойлов*<sup>8)</sup>, *Елена Изнатова*<sup>9)</sup>

<sup>1)</sup> ТУ - София, e-mail: hradev@tu-sofia.bg

<sup>2)</sup> ТУ - София, e-mail: bogev@tu-sofia.bg

<sup>3)</sup> ТУ - София, e-mail: vassilev\_v@tu-sofia.bg

<sup>4)</sup> „НИК 47“ ЕООД, e-mail: office@nik47.com

<sup>5)</sup> ТУ - София, e-mail: milkodjambazov@gmail.com

<sup>6)</sup> <sup>7)</sup> <sup>8)</sup> НМЗ, e-mail: voloshin@nkmz.donetsk.ua

<sup>9)</sup> НПП „Интертек“, e-mail: ien@intertek.com.ua

*Резюме:* Разглежда се метод за измерване на диаметрите на средните окръжности на отговорни ротационни повърхнини на голямогабаритни валове. Методът позволява реализиране на измерването, непосредствено на металорежещата машина по резултатите от измерване на радиалното биене на съответните напречни сечения на вала и на предварително калибрирана по диаметър и отклонение от кръглост еталонна гривна, закрепена на челото му. Анализирани са основните източници на неопределеност.

*Ключови думи:* голямогабаритни валове, измерване на диаметри, неопределеност.

## 1. Въведение

Към отговорните ротационни повърхнини на голямогабаритните валове в транспортното и тежко машиностроене, енергетиката и други отрасли на промишлеността, като турбинни, прокатни, колянови валове и др. се предявяват високи изисквания към геометричната точност. Допуските на диаметрите са обикновено в рамките 15-60  $\mu\text{m}$ .

Спецификата на измерването и контрола на тези допуски се определя от големите габарити и маса на детайлите (диаметри до 1500 mm, дължина до 20000 mm и маса до 80-100 t).

Широко използваните в практиката преки методи на измерване с механични измервателни средства (микрометри и индикаторни скоби) не осигуряват необходимата точност, а измерванията с координатно-измервателни машини е силно ограничено от конфигурацията на вала, възможността за разполагането му в работното пространство на машината, както и от икономически съображения [4].

Косвените методи по резултатите от измерване на елементите на кръга или по метода на отгъркаващата се ролка също не осигуряват не-

обходимата точност, която се влияе много силно от отклоненията на формата на измерваните напречни сечения. Освен това тези методи дават информация само за някаква осреднена стойност на диаметрите [3].

Обект на разглеждане в настоящия доклад е разработения от авторите оригинален метод за измерване на диаметрите на голямогабаритни валове, осигуряващ висока точност при измерване непосредствено на металорежещата машина [2].

## 2. Описание на метода

### 2.1. Принципна схема на измерване

Принципната схема на измерване при установяване на вала на центрите на металорежещата машина е показана на фиг. 1.

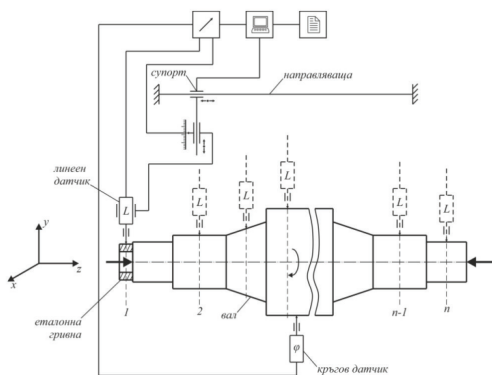
Калибрирана по диаметър гривна е закрепена към едното от челата на вала (напр. на магнити). Гривната е предварително калибрирана по диаметър и отклонение от кръглост в маркирано надлъжно и напречно сечение, съответно на високомер и кръгломер.

Ъгловото завъртане на вала се отчита с помощта на кръгов датчик, монтиран в приспособо-

---

Разработката е реализирана с финансовата подкрепа на МОН (дог. № ДФНИ Т02/9 “Изследване и разработване на нови методи и технологии за измерване на геометрични параметри на голямогабаритни детайли и съоръжения”)

бление с отгъркаваща се ролка, контактуваща с ротационната повърхност на вала, а радиалното биене – с помощта на линеен датчик (датчик за линейно преместване), закрепен към супорта на металорежещата машина. Кръговият и линейният датчик са свързани посредством показващия уред със съответно изчислително и регистриращо устройство.



Фиг. 1. Схема на измерване на диаметри при базиране на вала на центрите на металорежеща машина

Приема се, че движението на супорта е праволинейно и успоредно на оста на въртене на вала. Надлъжното и напречното преместване на супорта се определя по отчитащите устройства на металорежещата машина.

## 2.2. Процедура на измерването

Въвеждат се следните означения и номерация:

$i$  – номер на измерваното напречно сечение;

$i=1 \dots n$

$i=1$  – за напречното сечение на гривната;

$i=n$  – за последното измервано напречно сечение на вала;

$j$  – номер на измерваната точка от профила в съответното напречно сечение;

$j=1 \dots m$ , при което  $m$  е четно число;

$j=1$  – за маркираните точки от профила на гривната и вала.

$D_{ji}$  – местен диаметър, като разстояние между две срещулежащи точки на профила;

$R_{срi}$  – радиус на средната окръжност на профила;

$D_{срi}$  – диаметър на средната окръжност на профила;

$e^i$  – ексцентрицитет;

$e_{x1i}$  – проекция на ексцентрицитета по лини-

ята на измерване;

$\Delta_{ji}$  – отклонение от кръглост в маркирана точка от профила;

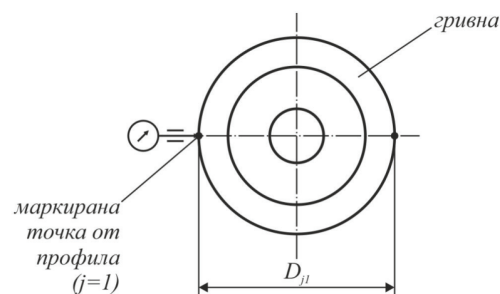
$\Delta_{1+\frac{m}{2},i}$  – отклонение от кръглост на срещулежаща на маркираната точка от профила при общ брой на измерваните точки от профила  $m$ ;

$O$  – ос на въртене;

$O_{срi}$  – център на средната окръжност.

Измерването се извършва в следната последователност:

Привежда се линейният датчик в контакт с гривната в маркираната точка ( $j=1$ ) на калибрираното напречно сечение ( $i=1$ ) (фиг. 2).

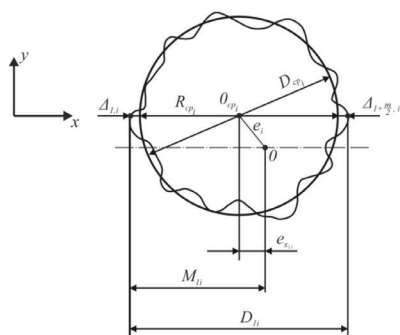


Фиг. 2. Калибрирана по диаметър  $D_{j1}$  гривна

Показанията  $A_{ji}$  на свързания с датчика показващ уред и показаниято  $B_{ji}$  на устройството, отчитащо напречното преместване на супорта се въвеждат в изчислителното устройство и се определя тяхната сума:

$$C_{ji} = A_{ji} + B_{ji} \quad (1)$$

Завърта се вала на един оборот и по резултата от радиалното биене т.е. по стойностите  $C_{ji}$  се строи профилограма на напречното сечение на гривната (виж фиг. 3).



Фиг. 3. Профилограма на  $i$ -то напречно сечение

По профилограмата се определят стойностите на  $\Delta_{1l}$ ,  $\Delta_{1+\frac{m}{2},1}$  и  $e_{x_{11}}$ .

Изчислява се  $D_{cp1}$  по формулата:

$$D_{cp1} = 2(M_{11} - \Delta_{11} - e_{x_{11}}), \quad (2)$$

но

$$D_{cp1} = 2 \left( D_{11} - \Delta_{11} - \Delta_{1+\frac{m}{2},1} \right) \quad (3)$$

Стойността на  $D_{11}$  е определена при калибриране на гривната. След заместване на (3) в (2) и преобразуване за  $M_{11}$  се получава следният израз:

$$M_{11} = 0,5 \left( D_{11} - \Delta_{11} - \Delta_{1+\frac{m}{2},1} \right) + \Delta_{11} + e_{x_{11}} \quad (4)$$

Чрез преместване на супорта линейният датчик се установява в контакт с вала в следващо  $i^{mo}$  сечение в маркирана точка ( $j_i$  при  $j=1$ ) в равнината на маркираната точка на гривната.

Отчитат се показанията  $A_{1i}$  на свързания с датчика показващ уред и  $B_{1i}$  на устройството, отчитащо напречното преместване на супорта и след въвеждане в изчислителното устройство се определя тяхната сума  $C_{1i}$ :

$$C_{1i} = A_{1i} + B_{1i} \quad (5)$$

Завърта се вала на един оборот и по резултатите от радиалното биене т.е. по стойностите на  $C_{1i}$  се строи профилограма на  $i^{mo}$  напречно сечение на вала.

По профилограмата се определят стойностите на  $\Delta_{1i}$  и  $e_{x_{1i}}$ .

$$R_{cp1} = M_{1i} - \Delta_{1i} - e_{x_{1i}}, \quad (6)$$

$$D_{cp1} = 2(M_{1i} - \Delta_{1i} - e_{x_{1i}}) \quad (7)$$

$$M_{1i} = M_{11} + \Delta_{C_i} \quad (8)$$

$$\Delta_{C_i} = C_{1i} - C_{11} \quad (9)$$

След заместване на (8) в (7) за  $D_{cp1}$  се получава:

$$D_{cp1} = 2(M_{11} + \Delta_{C_i} - \Delta_{1i} - e_{x_{1i}}) \quad (10)$$

По стойностите на  $D_{cp1}$  може да се определи местния диаметър, като разстояние между две срещуположни точки:

$$D_{j_i} = D_{cp1} + \Delta_{j_i} + \Delta_{j+\frac{m}{2},i}$$

При наличие на отклонение от праволиней-

ност на движението на супорта и отклонение от успоредност на това движение спрямо оста на въртене тези отклонения се определят при проверката на геометричната точност на металорежещите машини по съответни методики. За изключване на влиянието на отклонението на праволинейност и успоредност на движението на супорта се въвеждат съответни поправки в стойностите на  $C_{ji}$ .

### 3. Основни източници на неопределеност

В съответствие с метода на измерване на диаметри моделната функция (функционалната връзка между диаметъра на средната окръжност  $D_{cp1}$  в дадено сечение  $i$  и входните величини) се дава от израза:

$$D_{cp1} = D_{11} - \Delta_{1+\frac{k}{2},1} + \Delta_{11} + 2e_{x_{11}} + 2\Delta A_{1i} + 2\Delta B_{1i} - \Delta_{1i} - e_{x_{1i}} \quad (11)$$

Приема се, че входните величини са некорелирани, тогава:

$$u(D_{cp1}) = \sqrt{u(D_{11})^2 + u\left(\Delta_{1+\frac{k}{2},1}\right)^2 + u(\Delta_{11})^2 + 2u(e_{x_{11}})^2 + 2u(\Delta A_{1i})^2 + 2u(\Delta B_{1i})^2 + u(\Delta_{1i})^2 + u(e_{x_{1i}})^2} \quad (12)$$

но

$$u\left(\Delta_{1+\frac{k}{2},1}\right)^2 = u(\Delta_{11}) = u(\Delta A_{1i}) = u(\Delta_{1i}),$$

тогава:

$$u(D_{cp1}) = \sqrt{u(D_{11})^2 + 4(\Delta_{11})^2 + 2u(e_{x_{11}})^2 + u(e_{x_{1i}})^2 + 2u(\Delta B_{1i})^2} \quad (13)$$

$u(D_{11})$  се определя от използваните при калибрирането на еталонната гривна ИС. При измерване с вискомер TESA MicroHite-M356 при диаметър на гривната  $D=200$  mm  $u(D_{11})=0,7\mu\text{m}$ .

$u(\Delta_{11})$  се определя от точността на измервателния уред. По посочените данни при измерване с линеен инкрементален датчик максималната грешка  $e \pm 1 \mu\text{m}$ .

При приет правоъгълен закон на разпределение (оценяване тип B)  $u(\Delta_{11})=2/3,46=0,6 \mu\text{m}$ .

$u(e_{x_{11}})$  и  $u(e_{x_{1i}})$  зависят от стойностите на отклонението от кръглост в съответните сечения и от блуждащото биене на оста на въртене. Изследванията показват, че при брой на измерените точки в профила над 128  $u(e_{x_{11}})$  и  $u(e_{x_{1i}})$  не надхвърлят 1% от ЕФК [1].

$u(\Delta B_{ji})$  зависи от точността на напречното преместване на супорта на металорежещата машина и изисква конкретно изследване.

Така например при изследване на точността на позициониране на кръглошлайфова машина "Herkules" в Новокраматорския машиностроителен завод – гр. Краматорск, Украйна оценената неопределеност  $u(\Delta B_{ji})$  не надхвърля 2.2  $\mu\text{m}$ .

#### 4. Изводи

1. Към отговорните ротационни повърхнини на голямогабаритни валове в транспортното и тежко машиностроене, енергетиката и др. отрасли на промишлеността се предявяват високи изисквания към точността на обработката, респ. към точността на техните диаметри.

2. Разработеният метод на измерване осигурява висока точност на измерването при установяване на вала непосредствено на металорежещата машина.

3. Методът позволява определянето както на диаметрите на средните окръжности на измерваните напречни сечения, така и на местните диаметри, като разстояние между две срещуположни точки на профила.

4. Прегледът на основните източници на неопределеността показва, че методът и използваните за неговото реализиране измервателни средства, осигуряват неопределеност на измерването по-малка от свързаната с допуска целева неопределеност.

#### 5. Литература

[1] Василев В., Радев Хр., Богев В., Благов И., Изследване на постоянството на виртуална

базова ос при измерване на отклоненията на формата и разположението на ротационни детайли, Сборник с доклади на Национален научен симпозиум с международно участие „Метрология и метрологично осигуряване 2012“.

[2] Заявка за патент №111501 от 08/08/2013 Метод за измерване на диаметри на голямогабаритни валове, Христо Радев, Васил Богев, Велизар Василев, Никола Панчев, Милко Джамбазов, Игорь Надуев, Алексей Волошин, Вадим Самойлов, Елена Игнатова.

[3] Метрология и измервателна техника, книга-справочник в три тома под редакцията на Хр. Радев, Том 2, София, Софтгтрейд, 2010

[4] Рубинов А. Д., Контроль больших размеров в машиностроении, Машиностроение, Л, 1982.

#### Данни за авторите:

**проф. д.т.н. Христо Радев.** ТУ-София, Машиностроителен факултет, кат. „Прецизна техника и уредостроене“.

**доц. д-р Васил Богев** ТУ-София, Машиностроителен факултет, кат. „Прецизна техника и уредостроене“.

**гл. ас. д-р инж. Велизар Василев.** ТУ-София, Машиностроителен факултет, кат. „Прецизна техника и уредостроене“.

**маг инж. Никола Панчев** Управител на „ИК 47“ ЕООД – гр. Пловдив.

**д-р инж. Милко Джамбазов.** ТУ-София, Машиностроителен факултет, кат. „Прецизна техника и уредостроене“.

**маг. инж. Алексей Волошин.** Главен инженер на НКМЗ, Краматорск – Украйна.

**маг. инж. Игорь Надуев.** Зам. началник на Цех №5 на НКМЗ, Краматорск – Украйна.

**маг. инж. Вадим Самойлов.** Водещ технолог на Цех №5 на НКМЗ, Краматорск – Украйна.

**д-р инж. Елена Игнатова.** Директор НПП „Интертек“ – гр. Харьков, Украйна.

## MEASUREMENT OF LARGE SHAFT DIAMETERS

*Hristo Radev*<sup>1)</sup>, *Vasil Bogeв*<sup>2)</sup>, *Velizar Vassilev*<sup>3)</sup>, *Nikola Panchev*<sup>4)</sup>, *Milko Djambazov*<sup>5)</sup>,  
*Aleksey Voloshin*<sup>6)</sup>, *Igor Naduev*<sup>7)</sup>, *Vadim Samoylov*<sup>8)</sup>, *Elena Ignatova*<sup>9)</sup>

<sup>1)</sup> TU of Sofia, e-mail: hradev@tu-sofia.bg

<sup>2)</sup> TU of Sofia, e-mail: bogev@tu-sofia.bg

<sup>3)</sup> TU of Sofia, e-mail: vassilev\_v@tu-sofia.bg

<sup>4)</sup> „NIK 47“ Ltd., e-mail: office@nik47.com

<sup>5)</sup> TU of Sofia, e-mail: milkodjambazov@gmail.com

<sup>6) 7) 8)</sup> NMZ, e-mail: voloshin@nkmz.donetsk.ua

<sup>9)</sup> Intertek Ukraine, e-mail: ien@intertek.com.ua

*Abstract:* This article discusses a method for the measurement of the root-mean-square circles of the important cylindrical surfaces of large-scale shafts. The method allows the realization of the measurement directly on the machine by the use of the results of measuring the radial runout of the relevant cross-sections of the shaft and of one attached to the shaft forehead etalon ring which has pre-calibrated both the diameter and as well as its roundness deviation. The main sources of uncertainty have been analyzed.

*Key words:* large shafts, measurement of diameters, uncertainty.

### References:

[1] **Vasilev V., Radev Hr., Bogeв V., Blagov I.**, Izsledvane na postoyanstvoto na virtualna bazova os pri izmervane na otkloneniyata na formatata i razpolozhenieto na rotatsionni detayli, Sbornik s dokladi na Natsionalen nauchen simpozium s mezhdunarodno uchastie „Metrologiya i metrologichno osiguruvane 2012“.

[2] Zayavka za patent №111501 ot 08/08/2013 Metod za izmervane na diametri na golyamogabaritni

valove, Hristo Radev, Vasil Bogeв, Velizar Vasilev, Nikola Panchev, Milko Dzhambazov, Igory Naduev, Aleksey Voloshin, Vadim Samoylov, Elena Ignatova.

[3] Metrologiya i izmervatelna tehnika, knigaspravochnik v tri toma pod redaktsiyata na Hr. Radev, Tom 2, Sofiya, Softtrejd, 2010

[4] **Rubinov A. D.**, Kontrolny bolyshih razmerov v mashinostroenii, Mashinostroenie, L, 1982.

## ИЗМЕРЕНИЕ ДИАМЕТРОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ВАЛОВ

*Христо Радев*<sup>1)</sup>, *Васил Богев*<sup>2)</sup>, *Велизар Василев*<sup>3)</sup>, *Никола Панчев*<sup>4)</sup>, *Милко Джамбазов*<sup>5)</sup>,  
*Алексей Волошин*<sup>6)</sup>, *Игорь Надуев*<sup>7)</sup>, *Вадим Самойлов*<sup>8)</sup>, *Елена Игнатова*<sup>9)</sup>

<sup>1)</sup> ТУ - София, e-mail: hradev@tu-sofia.bg

<sup>2)</sup> ТУ - София, e-mail: bogev@tu-sofia.bg

<sup>3)</sup> ТУ - София, e-mail: vassilev\_v@tu-sofia.bg

<sup>4)</sup> „НИК 47“ ЕООД, e-mail: office@nik47.com

<sup>5)</sup> ТУ - София, e-mail: milkodjambazov@gmail.com

<sup>6) 7) 8)</sup> НМЗ, e-mail: voloshin@nkmz.donetsk.ua

<sup>9)</sup> НПП „Интертек“, e-mail: ien@intertek.com.ua

*Резюме:* В докладе рассматривается метод измерения диаметров средних окружностей ответственных ротационных поверхностей крупногабаритных валов. Метод позволяет реализовать измерения непосредственно на металлорежущем станке по результатам измерения радиального биения соответствующих поперечных сечений вала и заранее калиброванного по диаметру и отклонению от круглости эталонного кольца, установленного на торце вала. Проанализированы основные источники неопределенности измерения.

*Ключевые слова:* крупногабаритные валы, измерение диаметров, неопределенность.