



ИСПЫТАНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ШПИНДЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ НАНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЛГИИС

TESTS OF HIGH-PRECISION SPINDLES USING LHIMS HOLOGRAPHIC NANO-MEASURING SYSTEMS

Б.Г.Турухано*, заведующий ЛГИИС, заслуженный изобретатель РФ, Н.Турухано*, вед. науч. сотр., заслуженный изобретатель РФ, С.Н.Ханов*, вед. инженер-электроник, Ю.М.Лавров*, науч. сотр., Л.А.Константинов*, вед. инженер, О.Г.Ермоленко*, вед. инженер-технолог, В.В.Добырн*, ст. науч. сотр., Р.П.Синельщикова*, вед. инженер-конструктор / turukhano_bg@npi.nrcki.ru
B.G.Turukhano*, Head of LGIIS, Honored Inventor of RF, N.Turukhano*, Leading Researcher, Honored Inventor of RF, S.N.Khanov*, Engineer (Electronics), Yu.M.Lavrov*, Researcher, L.A.Konstantinov*, Leading Engineer, O.G.Ermolenko*, Leading Process Engineer, V.V.Dobyrn*, Senior Researcher, R.P. Sinelshchikova*, Lead. Design Engineer.

DOI: 10.22184/1993-8578.2020.13.6.384.390

Получено: 16.10.2020 г.

В данной работе исследуются радиальное и осевое биения шпинделя с помощью прецизионных наноголографических измерительных систем – линейных и угловых перемещений – длинномеров и ультрапрецизионного поворотного стола. Точность вращения шпинделя оценивается по величине радиального и осевого биения его переднего конца. Шпиндель осуществляет механическое вращательное движение. При вращательном движении шпинделя все его точки, в том числе и внешней поверхности, описывают окружности, расположенные в параллельных плоскостях. Центры всех окружностей лежат при этом на одной прямой, перпендикулярной к плоскостям окружностей называемой осью вращения. Ось вращения шпинделя располагается внутри его. Биения шпинделя исследуются по его верхней и боковой поверхностям.

It was studied the radial and axial runout of a spindle using precision nano-holographic measuring systems – linear and angular displacements – length meters and an ultra-precision rotary table. Spindle rotation accuracy was estimated by the value of radial and axial wavering of its front end. The spindle carries out a mechanical rotational movement. During the rotational movement of the spindle, all its points, including the outer surface, describe circles located in parallel planes. The centers of all circles lie on the same line perpendicular to the planes of circles called the axis of rotation. The axis of rotation of the spindle is located inside it. The wavering of the spindle is examined on its upper and lateral surfaces.

ВВЕДЕНИЕ

При вращении вокруг неподвижной оси вращательное движение называется круговым. Если ось шпинделя при круговом движении его точек меняет свое положение, то у шпинделя появляются так называемые биения. При этом биения могут быть как в плоскости, перпендикулярной

его оси (радиальное биение), так и в направлении самой оси шпинделя (осевое биение).

Предельные значения этих биений для исследовательских или других работ, а также устройств определяются в зависимости от требуемой точности вращения. Для универсальных станков конкретных классов точности биения

* ЛГИИС – Лаборатория голографических информационных и измерительных систем, НИЦ "Курчатовский институт" – ПИЯФ, г. Гатчина / LHIMS, Laboratory of holographic information and measurement systems, NRC "Kurchatov Institute", Gatchina.

Таблица 1. Характеристики длинномеров ДГ-30 и ДГ-100

Table 1. Characteristics of DG-30 and DG-100 length meters

Длинномер голографический Holographic length meter	Единица измерения Measuring units	ДГ-30 DG-30	ДГ-100 DG-100
Измеряемая длина, L Length to be measured, L	mm	0÷30	0÷100
Точность, Q Accuracy, Q	μm	±0,05	±0,10
Разрешение, R Resolution, R	μm	0,01	0,01
Максимальная скорость, v Peak speed, v	mm/s	500	500

устанавливаются ГОСТами, причем для обеспечения требуемой точности вращения шпинделя для него подбирают подшипники, точность исполнения которых примерно в три раза точнее, чем допустимое биение шпинделя. Для измерения биений шпинделя использовались голографические длинномеры ДГ-30 и ДГ-100 с характеристиками, приведенными в табл.1. В табл.2 показаны характеристики ультрапрецизионного двухшпиндельного наноизмерительного голографического одноосевого поворотного стола НИПСГ [1-3].

Нами были разработаны и созданы длинномеры голографические ДГ-30 и ДГ-100 с различными

Таблица 2. Характеристики поворотного стола НАНО ИПС-2

Table 2. Characteristics of NANO IPS-2 rotating table

Характеристики Characteristics	Единицы измерения Measuring units	Величина Value
Поворотный стол НАНО ИПС-2: NANO IPS-2 rotating table <ul style="list-style-type: none"> • Точность, мкм • Accuracy, μm 	angl.s	±0,25
<ul style="list-style-type: none"> • Дискретность, мкм • Dimensional resolution, μm 	angl.s	0,01
<ul style="list-style-type: none"> • Количество штрихов радиальной метрологической голографической решетки, диаметр • The number of stokes of the radial metrological holographic grating, diameter 	line/2π mm	162000 Ж
<ul style="list-style-type: none"> • Нагрузка • Loading 	кг kg	До 20 Up to

системами индикации результатов. Для ДГ-30 вывод результатов может быть организован как на экран персонального компьютера, так и на автономный блок индикации, а ДГ-100 преимущественно используется с автономным блоком индикации сигнала от измерительной установки.

На ультрапрецизионном двухшпиндельном наноизмерительном голографическом

INTRODUCTION

When rotating around a fixed axis, the rotational movement is called circular. If the spindle axis changes its position during the circular movement of its points, then the so-called beats appear at the spindle. In this case, the beats can be both in a plane perpendicular to its axis (radial beating) and in the direction of the spindle axis itself (axial beating).

The limiting values of these beats for research or other work, as well as devices, are determined depending on the required

rotation accuracy. For universal machine tools of specific accuracy classes, beats are set by GOSTs, and to ensure the required spindle rotation accuracy, bearings are selected for it, the accuracy of which is approximately three times more accurate than the permissible spindle runout. To measure the beats of the spindle, we used holographic length meters DG-30 and DG-100 with the characteristics given in Table 1. Table 2 shows the characteristics of an ultra-precision two-spindle nano-measuring holographic

single-axis rotary table NIPSG [1-3].

We develop and create the long length meters of holographic DG-30 and DG-100 with various display systems. For DG-30, the output of results can be organized both on a personal computer screen and on an autonomous display unit, and DG-100 is mainly used with an autonomous unit for indicating a signal from a measuring installation.

Figure 3 shows a general view of the holographic sensor stand installed on an ultra-precision



Рис.1. Ультрапрецизионный двухшпindelный НАНО измерительный одноосевой поворотный стол голографический – НАНО ИПС-2, стенд

Fig.1. Ultra-precision duplex NANO measuring single-axis turntable holographic-NANO IPS-2-stand

одноосевом поворотном столе НАНО ИПС-2, характеристики которого приведены в табл.2, установлен голографический датчик ДГ-100, что позволяет использовать данный стенд для исследования круглости деталей и их радиальных и осевых биений.

ИЗМЕРЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис.1 показан ультрапрецизионный двухшпindelный наноизмерительный одноосевой поворотный стол голографический (НИПСГ) и стенд НАНО ИПС-2 [4, 5, 6].

Характеристики стенда голографического НАНО ИПС-2 [4, 5]:

- для аттестации угловых датчиков, оптических элементов и других элементов;

two-spindle nano-measuring holographic single-axis rotary table NANO IPS-2, the characteristics of which are given in Table 2. The length of the holographic DG-100 is built into the stand for studying the roundness of parts and their radial and axial beating.

MEASUREMENTS AND RESULTS

Figure 1 shows an ultra-precision two-spindle nano-measuring single-axis holographic rotary table (NIPSG) and a NANO IPS-2 stand [4-6].

Characteristics of the stand of the holographic NANO IPS-2 [4,5]:

- for certification of angle sensors, optical elements and other elements;
- certification of devices without / with inertial load 0.02 Nm / 50 Nm.

Using the NANO IPS-2 stand (Fig.1), the radial beats of the spindle of a nano-measuring single-axis holographic rotary table (Fig.2) were studied.

As can be seen from the graph in Fig.3, the radial beating curve of the spindle of the NANO IPS-2 rotary table changes from 0.05 μm to 0.38 μm per spindle revolution (three rotations were performed, the repeatability was \pm

- сертификации приборов без/с инерционной нагрузкой 0,02 Нм / 50 Нм.

С помощью стенда НАНО ИПС-2 исследовались радиальные биения шпинделя наноизмерительного одноосевого поворотного стола голографического (рис.2).

Как видно из графика на рис.3, кривая радиальных биений шпинделя поворотного стола НАНО ИПС-2 меняется от 0,05 до 0,38 мкм за один оборот шпинделя (осуществлялись три поворота, повторяемость составила $\pm 0,1$ мкм). Отметим, что в эти величины не входит точность изготовления наружной поверхности шпинделя, так как биения определялись по сферическому эталону, сцентрированному на поверхности поворотного стола – НАНО ИПС-2.

Как видно из графика на рис.3, аксиальные биения шпинделя поворотного стола НАНО ИПС-2 меняются от 0,2 до 0,45 мкм.

Шпиндель "Ш8" испытывался в Лаборатории информационных и измерительных систем (ЛГИИС) – ПИЯФ с помощью прибора "Голографический длинномер ДГ-30" российского изготовления (ЛГИИС) и признанного средством измерения согласно "Свидетельству о поверке", выданному Государственным комитетом РФ

0.1 μm). Note that these values do not include the manufacturing accuracy of the outer surface of the spindle, since the beats were determined using a spherical standard centered on the surface of the rotary table – NANO IPS-2.

As can be seen from the graph in Fig.6, the axial beats of the spindle of the NANO IPS-2 rotary table vary from 0.2 μm to 0.45 μm .

The spindle "Ш8" was tested in the Laboratory of Information and Measuring Systems (LGIIS) – PNPI using the device "Holographic length meter DG-30" of Russian manufacture (LGIIS) and recognized as a measuring instrument

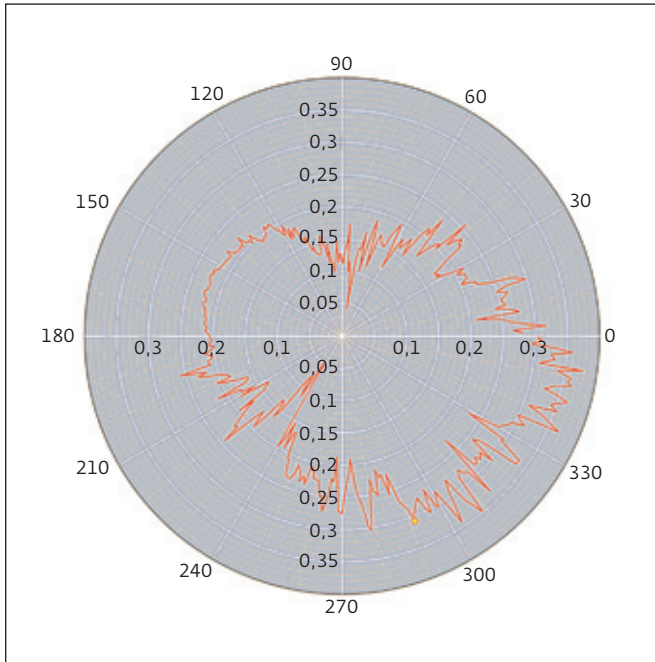


Рис.2. График радиальных биений шпинделя поворотного стола НАНО ИПС-2

Fig.2. Graph of radial beats of the spindle of the NANO IPS-2 rotary table

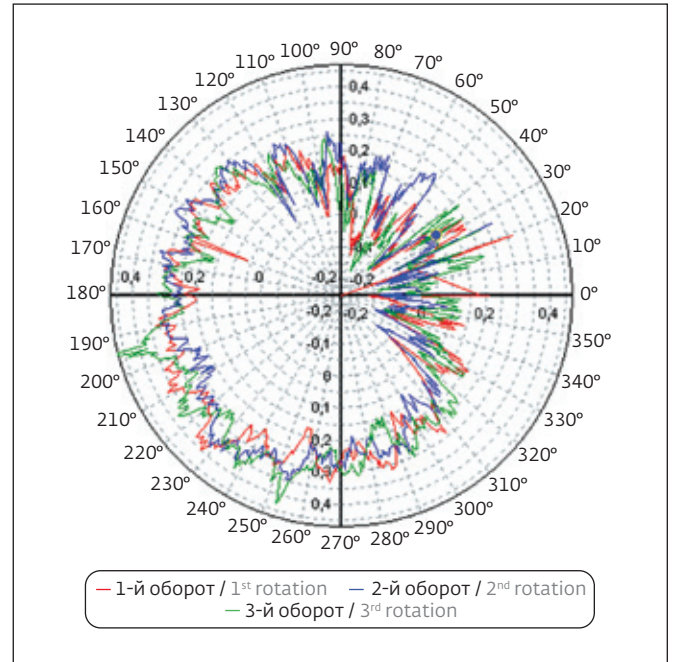


Рис.3. График аксиальных биений шпинделя поворотного стола НАНО ИПС-2 от трех оборотов (повторяемость $\pm 0,1$ мкм)

Fig.3. Graph of axial beats of the spindle of the NANO IPS-2 rotary table from three turns (repeatability ± 0.1 microns)

по стандартизации и метрологии (Госстандарт России) № 112511-7-121/10, и "Свидетельству об утверждении типа средства измерений" RU.C.27.001.A № 100899", выданному Федеральным

агентством по техническому регулированию и метрологии. Точность ДГ-30 равна $\pm 0,05$ мкм, разрешение 10 нм на длине 30 мм. Поверка прибора ДГ-30 осуществлялась в октябре 2018 года.

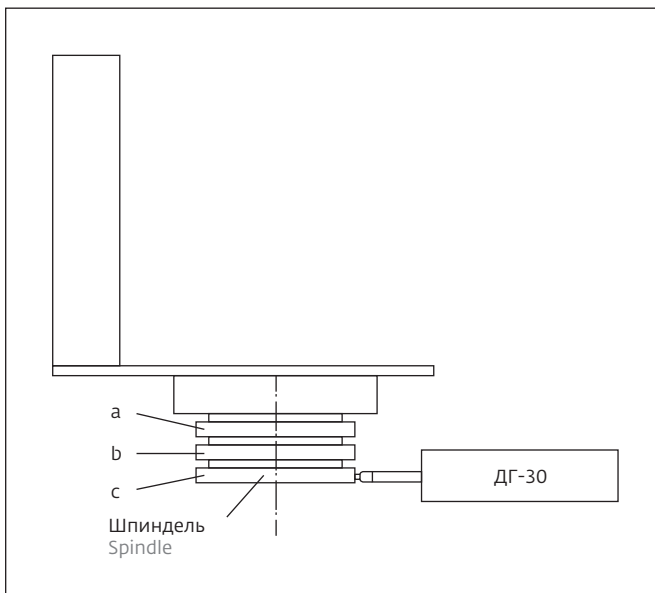


Рис.4. Крепление шпинделя при поверке. На роторе шпинделя показаны дорожки a, b и c

Fig.4. Fixing the spindle during verification. Tracks a, b, and c are shown on the spindle rotor

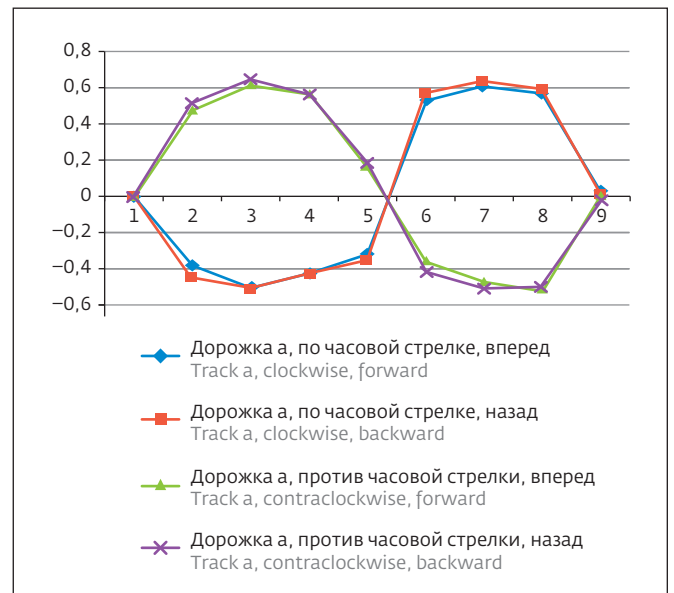


Рис.5. Величины биений шпинделя при вращении по и против часовой стрелки

Fig.5. Values of the spindle runout during rotation in and against clockwise



Рис.6. Величины биений шпинделя при вращении по и против часовой стрелки

Fig.6. The values of the spindle runout during rotation in and against clockwise

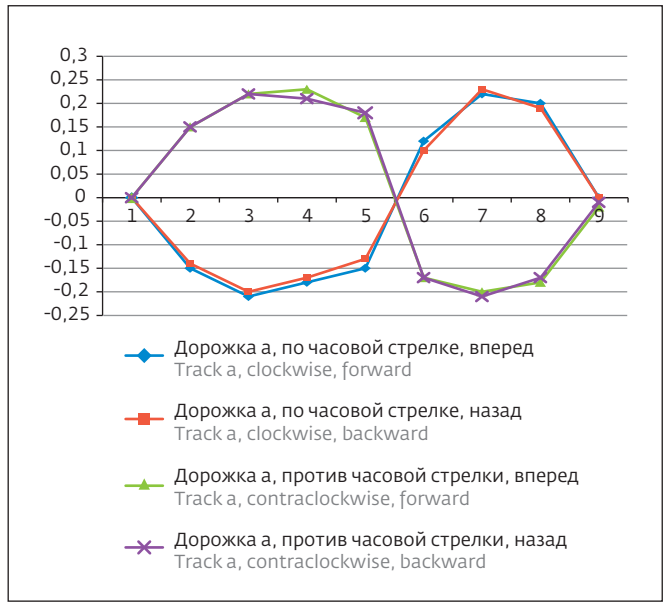


Рис.7. Величины биения шпинделя при вращении по и против часовой стрелки

Fig.7. The values of the spindle runout during rotation in and against clockwise

Измерения велись по трем отполированным дорожкам ротора (а, b, с). Испытания повторялись дважды, в прямом и обратном направлениях. Полученные результаты представлены на рис.4-11 графически.

Сканирование дорожки с показано на рис.5:

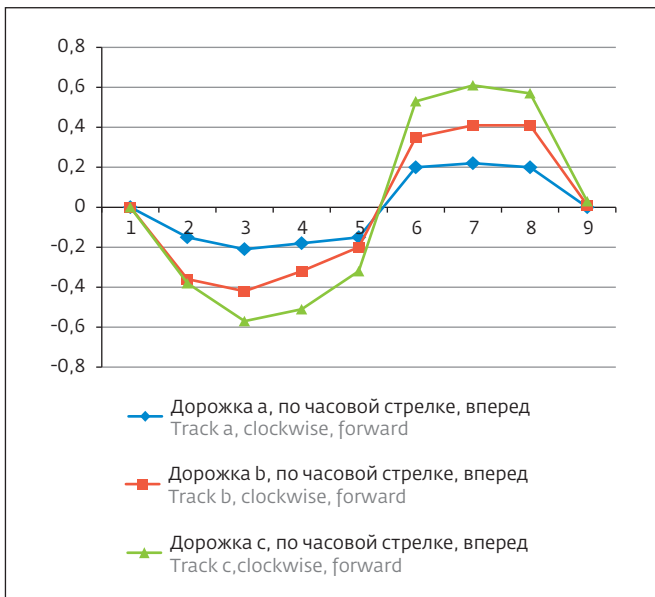


Рис.8. Сравнение дорожек а, b, с при вращении по часовой стрелке вперед

Fig.8. Comparison of tracks a, b, c when rotating clockwise forward

Результаты сканирования дорожки b и величины биений шпинделя при вращении по и против часовой стрелки показаны на рис.6:

Сканирование дорожки а показано на рис.7.

Затем было проведено сравнение дорожек при вращении шпинделя по часовой стрелке вперед.

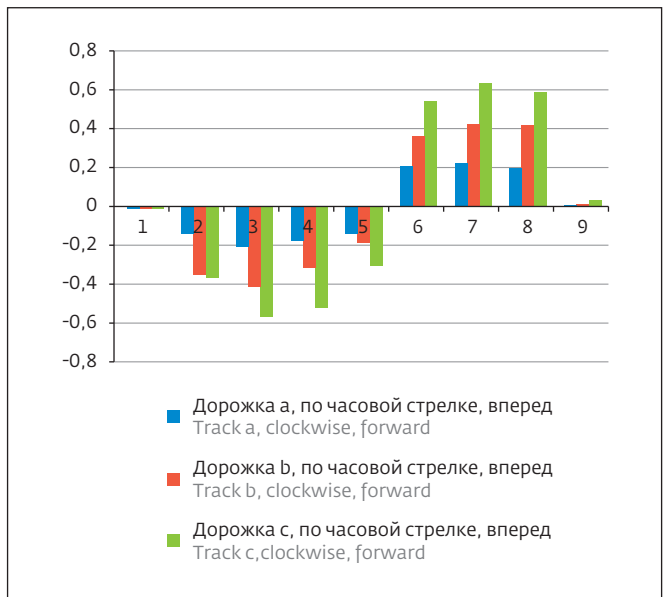


Рис.9. Сравнение дорожек а, b, с при вращении по часовой стрелке вперед

Fig.9. Compare tracks a, b, c when rotating clockwise forward

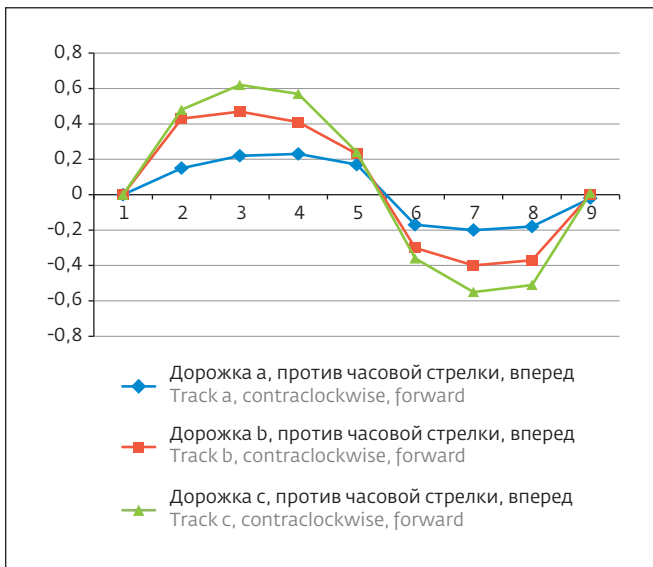


Рис.10. Сравнение дорожек a, b, c при вращении против часовой стрелки вперед

Fig.10. Comparison of tracks a, b, c at the counter-clockwise rotation forward

После этого сравнивали дорожки при вращении шпинделя против часовой стрелки вперед.

ВЫВОДЫ

Видно, что обнаруженные максимумы и минимумы кривых, полученных при вращении шпинделя по и против часовой стрелки практически одинаковы.

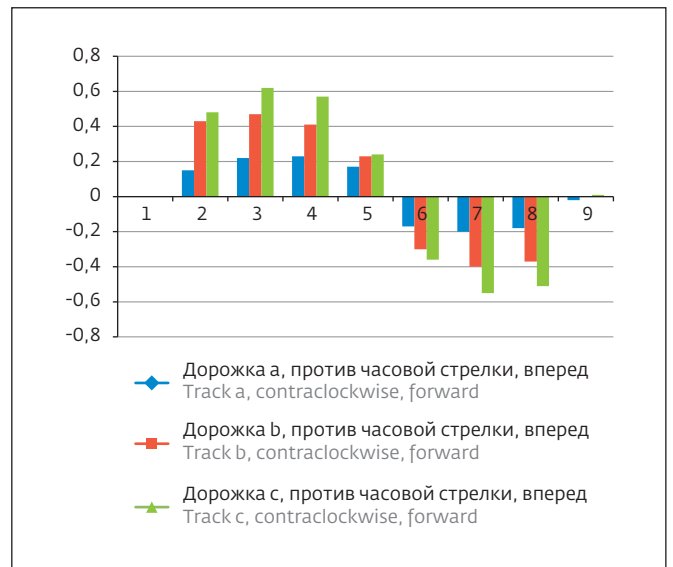


Рис.11. Сравнение дорожек a, b, c при вращении против часовой стрелки вперед

Fig.11. Compare tracks a, b, c at the counter-clockwise rotation forward

Максимумы: величины, показывающие максимумы кривых по и против часовой стрелки (рис.8 и 9), при вращении ротора шпинделя – являются одинаковыми с погрешностью менее 0,3 мкм.

Минимумы: величины, показывающие минимумы кривых по и против часовой стрелки (рис.8 и 11), при вращении ротора шпинделя

according to the "Certificate of verification" issued by the State committee of the RF for standardization and metrology (gosstandard of Russia) No. 112511-7-121 / 10 and "Certificate of type approval of measuring instruments" RU.C.27.001.A No. 100899 "issued by the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. The DG-30 accuracy is ± 0.05 microns, the resolution is 10 nm at a length of 30 mm. The DG-30 device was verified in October 2018. The measurements were carried out along three polished rotor tracks (a, b, c) according to previous figure. The tests

were repeated twice, forward and backward. The results are presented graphically in Figures 4-11.

Track c scan is shown in Fig.5.

The results of the scans of track b and the spindle runout during clockwise and counter-clockwise rotation are shown in Fig.6.

Track a scan is shown in Fig.7.

Then a comparison was made of the tracks while rotating the spindle clockwise forward.

Thereafter, the tracks were compared while rotating the spindle counterclockwise forward.

CONCLUSIONS

It can be seen that the detected maxima and minima of the curves obtained with spindle rotations "clockwise" and "counterclockwise" are practically the same.

Maxima: the values showing the maxima of the curves "clockwise" and "counterclockwise" (Fig.8 and 9), when the spindle rotor rotates, are the same with an error less than 0.3 μm .

Minima: the values showing the minima of the curves "clockwise" and "counterclockwise" (Fig.8 and 11), when the spindle rotor rotates, are also the same with an error less than 0.3 μm . ■



также являются одинаковыми с погрешностью менее 0,3 мкм.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Турухано Б.Г., Турухано Н. Фотоэлектрические преобразователи линейных перемещений на базе голографических решеток // Оптический журнал (ГОИ). 2002. Т. 69. № 8. С. 69.
2. Турухано Б.Г., Турухано Н. Субмикрометры высокого разрешения на основе голографических решеток. Препринт ПИЯФ РАН ЕР-39. 2000 г. № 2382.
3. Турухано Б.Г., Турухано Н., Якутович В.Н. Микрометрическая головка "ТУБОР". Патент РФ, № 2 032 142.1992. Пр. 19.03.1991 г.
4. Турухано Б.Г., Турухано Н., Добырн В.В. Нано технологический компьютеризированный измерительный поворотный стол. Приборы и системы, управление, контроль, диагностика. 2006. № 9. С. 34–36.
5. Турухано Б.Г., Турухано Н., Добырн В.В., Кормин Е.Г., Кормин В.Е., Лавров Ю.М. Исследование и разработка измерительных голографических нано систем линейных и угловых перемещений // Мир техники кино. 2009. № 12. С. 2–27.
6. Турухано Б.Г., Турухано Н., Добырн В.В., Ванин В.А., Кормин Е.Г., Кормин В.Е., Лавров Ю.М. Измерительные голографические нано системы линейных и угловых перемещений // Мир измерений. 2009. № 10. С. 14–17.

НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 1960 руб.

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУБМИКРОННЫХ МИКРОСХЕМ

Белоус А. И., Красников Г. Я., Солодуха В. А.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. – 782 с., ISBN 978-5-94836-603-6

В объеме 14 глав одной книги детально и последовательно рассмотрен весь комплекс взаимосвязанных теоретических и практических аспектов сквозного проектирования и организации производства кремниевых субмикронных микросхем: теоретические основы работы полевых и биполярных транзисторов, методы и особенности конструктивно-схематического проектирования, базовые схмотехнические и системотехнические решения биполярных, КМОП-, БиКМОП- и КНИ-микросхем, методы и средства повышения их радиационной стойкости, стандартные библиотеки проектирования и типовые маршруты проектирования.

Впервые в отечественной научно-технической литературе здесь приведены методы логического проектирования КМОП-микросхем с пониженным энергопотреблением, а также основные принципы и методы проектирования кибербезопасных микросхем и систем-на-кристалле.

Отражены современные методы и средства управления качеством изготовления субмикронных микросхем, современные технологии корпусирования микросхем, систем-на-кристалле и систем в корпусе.

Отдельная глава посвящена анализу состояния и тенденций развития современной микроэлектроники, включая методологический анализ существующих проблем и новых угроз.

Книга ориентирована на широкий круг читателей: студентов и преподавателей технических университетов, а также инженеров и менеджеров, специализирующихся в области разработки и организации производства субмикронных микросхем.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru

27–30.10.2020

www.chemistry-expo.ru



23-я международная
выставка химической
промышленности
и науки

ХИМИЯ

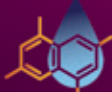
ХИМИЯ

Генеральный
информационный
партнер:

ЦЕНОВОЕ АГЕНТСТВО
ХИМ
КУРЬЕР
www.chem-courier.com
КОНФЕРЕНЦИИ



Инновации
и современные
материалы



Нефтегазохимия



Startup ChemZone



Автоматизация
и цифровизация
производства



Химмаш. Насосы



Хим-Лаб-Аналит



Зеленая химия



Индустрия пластмасс



Защита от коррозии
«КОРРУС»

При поддержке:

- Министерства промышленности и торговли РФ
- ФГУП «НТЦ «Химвест»
- Российского Союза химиков
- ОАО «НИИТЭХИМ»
- Российского химического общества им. Д.И. Менделеева
- Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
- РХТУ им. Д.И. Менделеева

Под патронатом ТПП РФ

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

12+
Реклама



Организатор:
ЭКСПОЦЕНТР