



Получено: 29.03.2022 г. | Принято: 1.04.2022 г. | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.2.150.158>

Научная статья

## ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ НАНОДЛИНОМЕР С ПОДШИПНИКОМ СКОЛЬЖЕНИЯ

Б.Г.Турухано<sup>1</sup>, зав. ЛГИИС, Заслуженный изобретатель РФ, ORCID: 0000-0002-6441-4259  
Н.Турухано<sup>1</sup>, вед. науч. сотр., Заслуженный изобретатель РФ, ORCID: 0000-0001-6983-5725  
С.Н.Ханов<sup>1</sup>, вед. инженер-электронщик, ORCID: 0000-0001-5237-1725  
О.Г.Ермоленко<sup>1</sup>, вед. инженер-технолог, ORCID: 0000-0002-0460-0746 / [turukhano\\_bg@pnpi.nrcki.ru](mailto:turukhano_bg@pnpi.nrcki.ru)

**Аннотация.** В настоящее время человечество пытается использовать наноразмерные объекты. Эти процессы познания касаются всех областей деятельности, начиная с интеллектуальной и заканчивая метрологией, приборостроением, аэрокосмической промышленностью, робототехникой, а также во всех высокотехнологических отраслях техники, науки, в том числе экологии. Важным результатом таких процессов является, в частности, и создание российского голографического нанодлиномера с подшипником скольжения, обладающим рекордным разрешением в 10 нм и выше.

**Ключевые слова:** длиномер голографический, подшипник скольжения

**Для цитирования:** Б.Г.Турухано, Н.Турухано, С.Н.Ханов, О.Г.Ермоленко. Голографический нанодлиномер с подшипником скольжения. НАНОИНДУСТРИЯ. 2022. Т. 15, № 2. С. 150–158. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.2.150.158>

Received: 29.03.2022 | Accepted: 1.04.2022 | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.2.150.158>

Original paper

## HOLOGRAPHIC NANOLENGTH METER WITH SLIDE BEARING

B.G.Turukhano<sup>1</sup>, Head of LGIIS, Honored Inventor of RF, ORCID: 0000-0002-6441-4259  
N.Turukhano<sup>1</sup>, Leading Researcher, Honored Inventor of RF, ORCID: 0000-0001-6983-5725  
S.N.Khanov<sup>1</sup>, Leading electronics engineer, ORCID: 0000-0001-5237-1725  
O.G.Ermolenko<sup>1</sup>, Leading Engineer Process Engineer, ORCID: 0000-0002-0460-0746 / [turukhano\\_bg@pnpi.nrcki.ru](mailto:turukhano_bg@pnpi.nrcki.ru)

**Annotation.** Humanity is currently attempting to exploit nanoscale objects. These cognitive processes concern all fields of activity, from intellectual to metrology, instrumentation, aerospace, robotics, and in all high-tech fields of engineering, science, including ecology. An important result of such processes, in particular, is the creation of the Russian holographic nano length meter with a sliding bearing with a record resolution of 10 nm and higher.

**Keywords:** holographic length gauge, sliding bearing

**For citation:** B.G.Turukhano, N.Turukhano, S.N.Khanov, O.G.Ermolenko. Holographic nanolength meter with slide bearing. NANOINDUSTRY. 2022. V. 15, no. 2. PP. 150–158. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.2.150.158>

<sup>1</sup> ФГБУ "Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова" Национального исследовательского центра "Курчатовский институт", Ленинградская обл., г. Гатчина, Россия / Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P.Konstantinov of NRC "Kurchatov Institute", Gatchina, Russia



## ВВЕДЕНИЕ

Подшипник скольжения (ПС) – это узел, осуществляющий связь между двумя движущимися деталями, одна из которых неподвижна. Подшипник устанавливается своим скользящим элементом на поверхности одного из узлов и будет перемещаться по нему, повторяя его характеристики с наименьшими искажениями, передавая это движение другому узлу.

### Подшипник скольжения

К ПС предъявляются определенные требования, среди которых малое трение, минимальные биения, надежность, жесткость, неизменность параметров во времени и независимость от внешних условий, долговечность, температурная стабильность, минимальный износ и др.

Известно устройство "плоский подшипник скольжения со смазкой для линейной рельсовой направляющей" [1]. Это однокоординатный линейный подшипник, содержащий элемент скольжения (ЭС) в виде каретки с канавками для подачи смазки и роликами, расположенными по его противоположным бокам соответствующим двум сторонам линейной рельсовой направляющей. Направляющая содержит с двух сторон впадины, по которым катятся подшипники ЭС. Каждая впадина линейной направляющей играет роль опорной поверхности. Между кареткой и рельсом имеется смазка. Грязная смазка постепенно просачивается наружу посредством резинового узла, расположенного с каждой противоположной стороны ЭС, осуществляющего контакт с соответствующими впадинами линейной рельсовой направляющей.

Каретка ЭС скользит вдоль осевой линии, линейной рельсовой направляющей, будучи с ней в контакте посредством смазывающего вещества. Ролики, расположенные по бокам ЭС, входят в соответствующие впадины рельсовой направляющей. Конструкция позволяет уменьшить трение и шум, однако точность перемещения, которая обеспечивает данный подшипник скольжения, ограничена суммой следующих факторов:

- использование смазки, в которой накапливаются пылевые частицы, меняющая свои характеристики во времени и в зависимости от температуры окружающей среды;
- влияние температуры на стальные детали подшипника скольжения.

Существует также линейный ПС [2], содержащий ЭС в виде направляющего рельса. Направляющий рельс содержит рельсовые впадины (бороздки), которым соответствуют продольные гребни (выпуклости) по противоположным бокам ЭС. Каждая впадина направляющего рельса, играющего роль

## INTRODUCTION

A plain bearing (PB) is an assembly that interacts between two moving parts, one of which is stationary. The bearing is mounted with its sliding element on the surface of one of the units and will move along it, replicating its characteristics with the least distortion, transmitting this motion to the other unit.

### Plain bearing

A PB has certain requirements, including low friction, minimum runout, reliability, stiffness, constant parameters over time and independence from external conditions, durability, temperature stability, minimum wear, etc.

A known device is the "lubricated flat plain bearing for a linear rail guide" [1]. It is a single-coordinate linear bearing containing a sliding element (SE) in the form of a carriage with grooves for grease supply and rollers located on its opposite sides corresponding to the two sides of the linear rail guide. The guide contains recesses on both sides on which the SE bearings roll. Each groove of the linear guidance system acts as a bearing surface. There is grease between the carriage and the rail. The dirty grease gradually seeps outwards via a rubber assembly located on each opposite side of the SE, which makes contact with the corresponding grooves of the linear rail guide.

The SE carriage slides along the centreline of the linear rail, being in contact with it by means of a lubricant. The rollers, located on the sides of the SE, fit into the corresponding recesses of the guideway. The design reduces friction and noise, but the accuracy of movement that this plain bearing provides is limited by the sum of the following factors:

- the use of a grease in which dust particles accumulate, changing its characteristics over time and depending on the ambient temperature;
- the influence of temperature on the steel parts of the slide bearing.

There is also a linear PB [2], containing an SE in the form of a guideway. The guideway contains rail hollows (grooves) to which correspond longitudinal ridges (convexities) on the opposite sides of the SE. Each groove of the guideway, which acts as a bearing surface, is shaped like a gothic arch, and the corresponding opposite convexity of the SE is shaped like a circular arch in cross-section. There is grease between the carriage and the rail. The carriage slides along the centreline of the rail, being in contact with it. The longitudinal ridges on the sides of the SE fit into the corresponding arch hollows of the rail. The design reduces friction and noise. However, the SE device has the following disadvantages:

опорной поверхности, имеет форму готической арки, а соответствующая ей противоположная выпуклость ЭС имеет форму круглой арки в сечении. Между кареткой и рельсом имеется смазка. Каретка скользит вдоль осевой линии рельсовой направляющей, будучи с ней в контакте. Продольные гребни, расположенные на боках ЭС, входят в соответствующие арочные впадины рельсовой направляющей. Конструкция позволяет уменьшить трение и шум. Однако устройство ПС имеет следующие недостатки:

- сложная конфигурация сопрягаемых поверхностей продольных впадин направляющей рельса и гребней на скользящей каретке приводит к сложностям при изготовлении и подгонке двух соответствующих поверхностей, особенно при больших размерах, а это, в свою очередь, к снижению точности перемещения, обеспечиваемой подшипником;
- наличие смазочных веществ снижает точность устройства из-за изменения зазора вследствие проникновения в смазку загрязняющих частиц из окружающей среды, появляющихся в результате трения контактных поверхностей;
- возможность перемещения каретки только по одной координате;
- температурная зависимость металлических узлов подшипника скольжения.

#### Длиномер голографический с подшипником скольжения (ДГПС)

ДГПС позволяет увеличить точность перемещения и дает возможности его перемещения по плоскости и по любой траектории. Он служит промежуточным звеном, связывающим два узла одного или разных механизмов, передает движение одного узла относительно другого с наименьшими потерями и искажениями.

Это обеспечивается выявленными в устройстве факторами:

- уменьшением динамических погрешностей;
- уменьшением влияния пылевых частиц;
- уменьшением влияния температуры на узлах подшипника из-за возможности использования материалов с малым коэффициентом температурного расширения;
- повышением устойчивости к коррозии, так как узлы подшипника выполнены из материалов с высокой твердостью;
- возможности работы без смазки в силу конструктивных особенностей ЭС, содержащего канавки, а также из-за использования ЭС-материалов, обладающих микроканавками;
- отсутствием электропроводности при подборе соответствующих материалов;

- the complex configuration of the mating surfaces of the longitudinal grooves of the rail guide and the ridges on the slide carriage leads to difficulties in manufacturing and fitting the two respective surfaces, especially for large dimensions, which in turn reduces the accuracy of the movement provided by the bearing;
- the presence of lubricants reduces the accuracy of the device due to a variation in the clearance due to the ingress of contaminants from the environment into the lubricant as a result of friction between the contact surfaces;
- the possibility of moving the carriage in only one axis;
- temperature dependence of the metal parts of the slide bearing.

#### Holographic Length Meter with plain bearing (HLMPB)

The HLMPB enables increased accuracy of movement and allows it to move on any plane and in any trajectory. It serves as an intermediate link between two nodes of the same or different mechanisms, transmitting the movement of one node relative to the other with the least amount of loss and distortion.

This is ensured by the factors identified in the device:

- reduction of dynamic errors;
- reduced influence of dust particles;
- reduced influence of temperature on the bearing units due to the possibility of using materials with a low thermal expansion coefficient;
- increased resistance to corrosion, as the bearing units are made of high hardness materials;
- possibility of non-lubricated operation due to design features of the SE containing grooves, as well as due to the use of SE materials with micro-grooves;
- no conductivity with selection of appropriate materials;
- possibility of plane movement in any trajectory.

Fig. 1a, b, c shows the construction of the PB with SE unit, where a is the bottom view of the sliding bearing, b and c are the cross-sections of the sliding bearing.

ES 1 is executed from firm ceramics on basis  $\text{Si}_3\text{N}_4$  and represents a cylinder, with big 2 and smaller diameter 3 in which the cavity 10 is executed, and through ball 5 is connected to a platform 4, thus the axis of an aperture of ball 5 coincides with axes of apertures in SE and in a platform 4. The SE 1 and platform 4 are mounted in the housing 6. Through the hole in the platform 4, the ball and the SE a strong kevlar thread 12 is passed. One end of



- возможности перемещения по плоскости по любой траектории.

На рис. 1а, б, с показана конструкция ПС с узлом ЭС, где а – вид снизу подшипника скольжения, б и с – сечения подшипника скольжения.

ЭС 1 выполнен из твердой керамики на основе  $\text{Si}_3\text{N}_4$  и представляет собой цилиндр с большим 2 и меньшим диаметром 3, в котором выполнено углубление 10, и через шарик 5 связан с платформой 4, при этом ось отверстия шарика 5 совпадает с осями отверстий в ЭС и в платформе 4. ЭС 1 и платформа 4 установлены в корпусе 6. Сквозь отверстие в платформе 4, шарике и ЭС пропущена прочная кевларовая нить 12. Один конец нити 12 закреплен в фиксаторе 8 стопорным винтом 9, а другой конец закреплен на ЭС со стороны поверхности А фиксатором 13.

Цилиндр большего диаметра ЭС имеет паз 18. В кольце корпуса 6 в месте расположения паза 18 ЭС выполнен штырь 17, жестко с ним связанный. Паз 18 и штырь 17 расположены под углом  $45^\circ$  по отношению к ортогональной сетке канавок 11 и предназначены для ограничения углового вращения цилиндра ЭС. В своей нижней части, цилиндрический корпус 6 имеет буртик 19, который охватывает цилиндр большего диаметра 3 ЭС и фиксатор 13. Между фиксатором 13 и платформой 4 установлена пружина 7, обеспечивающая натяг нити на шарик 5 и сохранение постоянного значения зазора между платформой 4 и ЭС 1. Величину натяга легко регулировать до начала работы, меняя длину нити 12 и фиксируя ее стопорным винтом 9. Легко полированная плоскость поверхности ЭС входит в контакт с поверхностью, по которой будет перемещаться подшипник скольжения. Шарик фиксируется посредством сварки или клея 14 в сферическом отверстии 15, выполненном в нижней плоскости платформы. Это обеспечивает зазор между платформой и элементом скольжения. Другой зазор 16, между платформой 4 и ЭС 1, обеспечен также разницей в их внешних диаметрах. Шарик 5 необходимо регулировать до начала работы, меняя длину нити 12 и фиксируя ее стопорным винтом 9. Такая конструкция обеспечивает соединение платформы, шарика и элемента скольжения без зазоров по оси системы. Паз 18 служит для прохода штыря, установленного с целью ограничения вращения ЭС 1 вокруг оси системы. В платформе имеется отверстие 19 для крепления во внешнем устройстве, где будет функционировать подшипник скольжения.

Такая совокупность признаков в ДГПС позволяет:

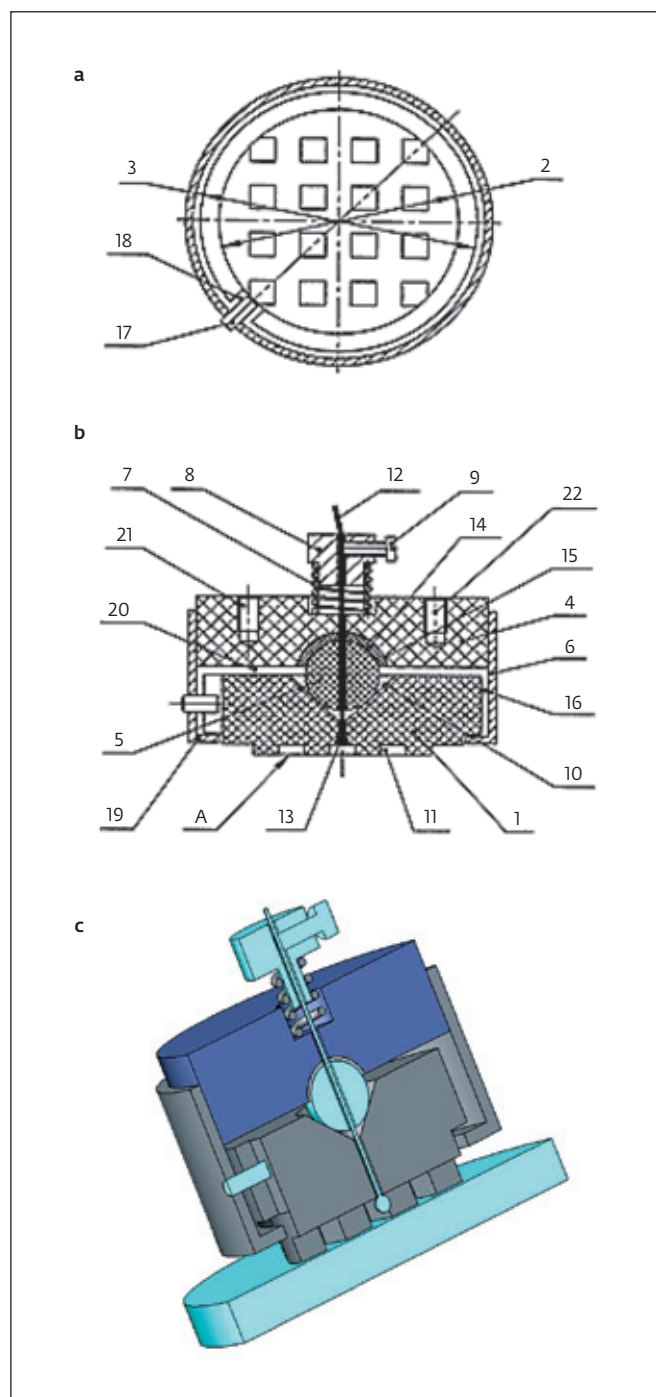


Рис. 1. Голографический подшипник скольжения. Общий вид  
Fig. 1. Holographic plain bearing (HPB). General view

the thread 12 is secured in the retainer 8 with the locking screw 9, and the other end is secured to the SE on the surface A side with the retainer 13.

The larger diameter SE cylinder has a slot 18. In the housing ring 6, at the location of slot 18 there is a pin 17 rigidly connected with it. The slot 18 and the pin 17 are located at an angle of  $45^\circ$  with respect to

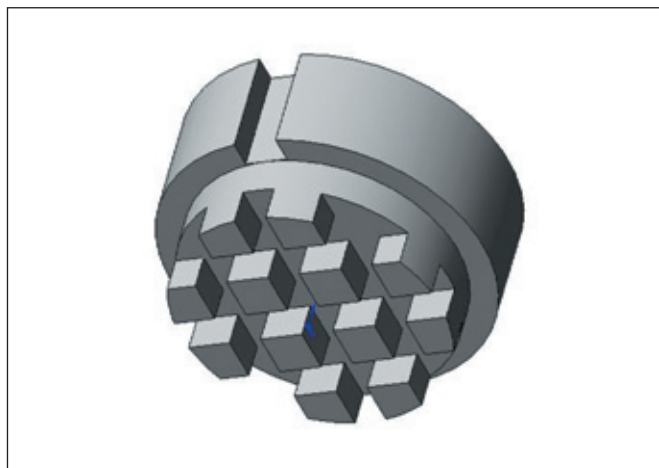


Рис.2. Элемент скольжения. Вид со стороны опорной поверхности

Fig.2. Sliding element. View from the supporting side surface

- повысить точность перемещения механического узла по опорной поверхности;
- уменьшить влияние температуры;
- работать без смазки;
- обладать устойчивостью к коррозии;
- исключить электропроводность,
- перемещать его по плоскости по любой траектории.

#### Работа устройства ДГПС

До начала работы собирается подшипник скольжения (ГПС) из узлов, показанных на рис.1а, в том числе из платформы 4, шарика 5 (жестко фиксированного верхней полусферой 8 к платформе 4 путем склеивания), ЭС 1, нити 12 и корпуса 10. Нить 12 проходит через платформы 4, шарика 5 и ЭС 1, натягивается и закрепляется в нижней части 13 ЭС и в верхней части платформы 8 с определенным натягом таким образом, чтобы отсутствовал зазор между ЭС и шариком после чего затягивается в узле 8 посредством винта 9. Затем подшипник устанавливается во внешнем устройстве (в данном случае в длиннере ДГ-30), где он будет в дальнейшем функционировать между двумя узлами этого устройства, один из которых неподвижен (см. рис.4) – шток ДГ-30 (узел 3) в качестве "опорной поверхности" и жестко связан с подшипником скольжения посредством крепежного отверстия в платформе подшипника скольжения 19, второй неподвижен (см. Рис.4, узел 2).

ЭС 1 подшипника скольжения устанавливается плоскостью А, содержащей канавки 11 (рис.1б), на опорной поверхности 2 (рис.4), по которой он будет перемещаться (скользить), входя с ней в соприкосновение. На рис.2 показан вид ЭС со стороны исследуемой металлической плиты. Подшипник

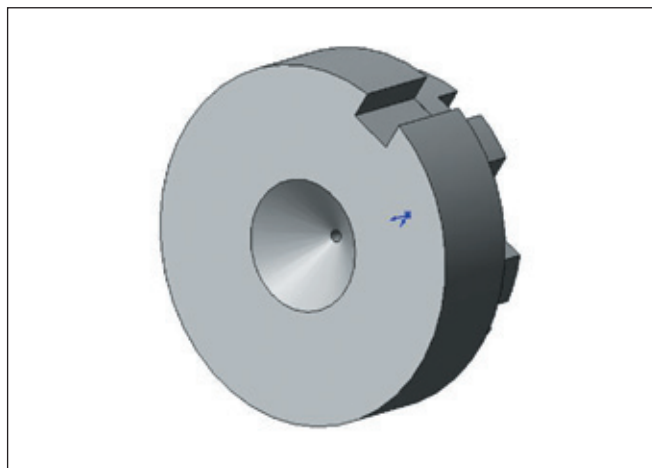


Рис.3. Элемент скольжения. Вид со стороны платформы

Fig.3. Sliding element. View from the platform side

the orthogonal grid of grooves 11 and are designed to limit the angular rotation of the SE cylinder. In its lower part, the cylindrical body 6 has a shoulder 19 which encloses the larger diameter cylinder 3 of the SE and the retainer 13. There is a spring 7 between the lock 13 and the platform 4, which provides the thread tension on the ball 5 and maintains a constant value of the gap between the platform 4 and SE 1. The value of interference can be easily adjusted before operation by changing the length of thread 12 and locking it with the locking screw 9. The lightly polished surface plane of the SE comes into contact with the surface on which the slide bearing will travel. The ball is fixed by welding or gluing 14 in the spherical hole 15 made in the lower plane of the platform. This provides a clearance between the platform and the sliding element. Another clearance 16, between platform 4 and SE 1, is also provided by the difference in their outer diameters. Ball 5 must be adjusted before operation by changing the length of thread 12 and securing it with locking screw 9. This design ensures that the platform, ball and sliding element are connected without gaps in the system axis. The slot 18 serves for the passage of a pin installed to limit the rotation of SE 1 around the system axis. The platform has a hole 19 for fixing in an external device, where the sliding bearing will function.

This combination of attributes in the HLMPB allows for:

- increase the accuracy of the mechanical unit's movement on the bearing surface;
- reduce the influence of temperature;
- operate without lubrication;
- be corrosion resistant;

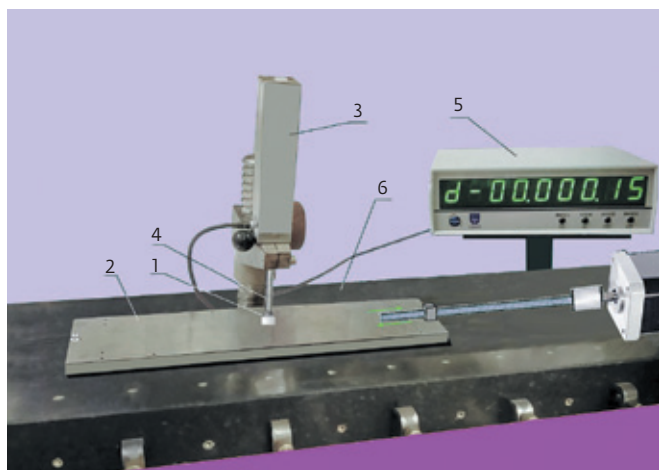


Рис.4. 1 – подшипник скольжения, 2 – исследуемая металлическая плита, 3 – длиномер голографический ДГ-30, 4 – шток длиномера, 5 – блок управления длиномера, 6 – поверхность габродиабазовой опорной плиты  
Fig.4. 1 – sliding bearing, 2 – metal plate under study, 3 – holo-graphic DG-30 length gauge, 4 – length gauge rod, 5 – length gauge control unit, 6 – surface of the gabbrodiabase base plate

располагается между двумя деталями (узлами): неподвижного длиномера и подвижного внешнего устройства 2 (рис.4), передавая, от одного из них к другому, движение без каких-либо искажений. Другими словами, он должен оказывать как можно меньше влияния на процесс движения, отвечая основным следующим требованиям: малое трение, минимальные биения, долговечность, стабильность к температуре, минимальный износ, жесткость, надежность, отсутствие накопления статического электричества и т.д. При перемещении по опорной поверхности ЭС устанавливается таким образом, чтобы в дальнейшем можно было осуществить движение под углом  $45^\circ$  по направлению паза 18. Для этого ось паза 18 должна совпадать с направлением перемещения. Такое направление наилучшим образом позволит ЭС собирать инородные тела, например пыль, с направляющей, для обеспечения максимально возможной точности перемещения.

Размер винта 17 меньше ширины паза 18, а длина меньше глубины паза, что позволяет элементу скольжения вращаться вокруг своей оси в небольшом угле (около  $1-2^\circ$ ) и кататься относительно опорной поверхности. Эти перемещения позволяют ЭС самоустанавливаться на опорной поверхности и, тем самым, отслеживать истинное отклонение этой поверхности от плоскостности. Канавки 11 выполняют две функции: "снимают" пылевые частицы в канавках и уменьшают площадь соприкосновения скользящего элемента с опорной поверхностью. Движение без смазки происходит за счет того, что хотя бы одна

- eliminate electrical conductivity,
- to move it flat on any trajectory.

#### Operation of the HLMPB device

Prior to operation, a PB is assembled from the assemblies shown in Fig.1a, including platform 4, ball 5 (rigidly fixed with upper hemisphere 8 to platform 4 by bonding), SE 1, thread 12 and housing 10. The thread 12 passes through the platform 4, the ball 5 and SE 1, is stretched and fixed at the bottom 13 of the SE and at the top of the platform 8 with a certain tension so that there is no gap between the SE and the ball after which it is tightened in the assembly 8 by means of the screw 9. The bearing is then installed in an external device (in this case the DG-30 length gauge) where it will further function between two units of this device, one of which is stationary (see Fig.4 - DG-30 rod (unit 3) as a "bearing surface") and rigidly connected to the plain bearing through the fixing hole in the plain bearing platform 19, the other is stationary (see Fig.4, unit 2).

The SE 1 of the sliding bearing is mounted with the plane A containing grooves 11 (Fig.1b) on the supporting surface 2 (Fig.4), on which it will move (slide), coming into contact with it. Figure 2 shows a view of the SE from the side of the metal plate under investigation. The bearing is located between two parts (units): the fixed length gauge and the movable outer unit 2 (Fig.4), transmitting, from one of them to the other, motion without any distortion. In other words, it must have as little effect on the motion process as possible, meeting the following basic requirements: low friction, minimum run-out, durability, temperature stability, minimum wear, rigidity, reliability, no accumulation of static electricity, etc. When moving on the bearing surface, the SE is positioned in such a way that it can then be moved at an angle of  $45^\circ$  in the direction of the slot 18. For this purpose, the axis of slot 18 must coincide with the direction of movement. This direction will best allow the SE to pick up foreign bodies, such as dust, from the guide rail to ensure the greatest possible accuracy of movement.

The size of the screw 17 is smaller than the width of the slot 18 and the length is smaller than the depth of the slot, allowing the sliding element to rotate about its axis at a small angle (about  $1-20^\circ$ ) and oscillate relative to the supporting surface. These movements allow the SE to self-align with the supporting surface and thereby monitor the true deviation of this surface from flatness. The grooves 11 have two functions: "skimming" the dust particles in the grooves and reducing the contact area of the sliding element with the bearing surface. Motion without lubrication occurs due



из двух поверхностей ЭС или опорная поверхность, по которой скользит подшипник, имеет микроканавки. В данном конкретном случае, при использовании габродиабазовой платформы на поверхности, где расположена исследуемая плита 2, имеющая мелкокристаллическую структуру, благодаря чему ее полированная в плоскость поверхность оказывается покрыта канавками глубиной 0,5-1 мкм и шириной до нескольких мкм, в которых находится воздух. Таким образом, под каждой площадкой на стороне А – ЭС образуется воздушная подушка, что исключает присасывание элемента скольжения к опорной поверхности, и элемент скольжения получает дополнительную возможность перемещения по этой данной опорной поверхности.

С целью определения погрешности, вводимой подшипником скольжения при его практическом применении в системе ДГПС, был использован высокоточный цифровой длиномер голографический ДГ-30 с разрешением 0,01 мкм, который, через свой шток, жестко соединился с платформой 4 подшипника скольжения через отверстие 19. При исследовании определялась плоскостность поверхности плиты 2 (рис.4), которая перемещалась во время испытания по опорной поверхности габродиабазовой платформы. Причем отклонение от плоскостности поверхности габродиабазовой платформы, на которой устанавливалась исследуемая плита 2 ( $\pm 0,02$  мкм/300 мм), и погрешность самого голографического длиномера ДГ-30 (0,01 мкм/30 мм) в сумме должны быть меньше, чем ожидаемая величина погрешности ПС, включая его важный параметр – биение. Система работает следующим образом: во время эксперимента голографический длиномер вместе с ПС неподвижны относительно исследуемой подвижной плиты, расположенной на габродиабазовой платформе.

При этом длиномер голографический ДГ-30 позволяет отслеживать отклонения от плоскостности поверхности исследуемой плиты. На рис.5 видно, что погрешность всех используемых в эксперименте элементов: длиномера ДГ-30 с ПС, исследуемой плиты и габродиабазовой платформы оказалась меньше  $\pm 0,045$  мкм (90 нм) на длине 180 мм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, конструктивное выполнение подшипником скольжения позволяет:

- повысить точность перемещения двух механических узлов друг относительно друга посредством подшипника скольжения за счет;
- усреднять неровности поверхности по площади плоскости А – ЭС;
- устанавливать элемент скольжения на опорной поверхности, за счет шарика и прилегания

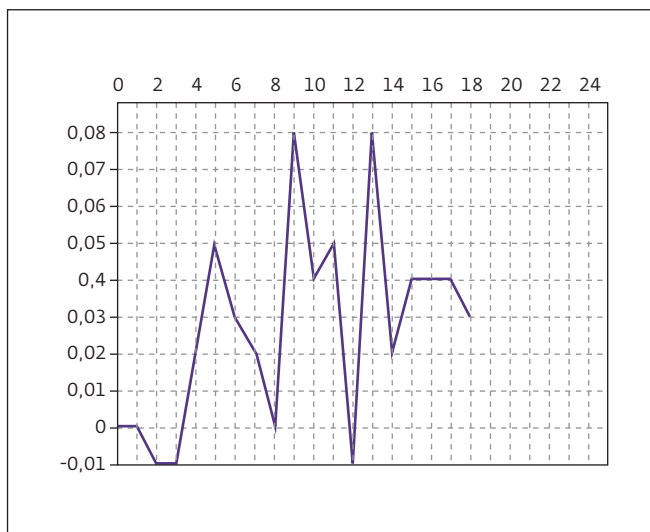


Рис.5. График сканирования габродиабазовой плиты с помощью самоустанавливающегося, самоочищающегося, безлюфтового, подшипника скольжения

Fig.5. Graph of scanning a gabrodiabase plate using a self-aligning, self-cleaning, luftless, sliding bearing.

to the fact that at least one of the two surfaces of the SE or bearing surface, on which the bearing slides, has microchannels. In this particular case, when using a gabrodiabase platform on the surface where the investigated plate 2 is located, which has a fine crystal structure, due to which its polished in-plane surface turns out to be covered with grooves 0.5-1 microns deep and up to several microns wide, in which air is located. Thus, an air cushion is formed under each pad on the A – SE side, which prevents the sliding element from sticking to the supporting surface, and the sliding element has the additional possibility to move on this given supporting surface.

In order to determine the error introduced by the sliding bearing during its practical application in the HLMPB system, a high-precision digital holographic longimeter DG-30 with 0.01  $\mu\text{m}$  resolution was used, which, through its stem, was rigidly connected to the platform 4 of the sliding bearing through hole 19. The study determined the flatness of the plate surface 2 (Fig.4), which was moved during the test on the bearing surface of the gabrodiabase platform. At that deviation from flatness of gabrodiabase platform surface on which investigated slab 2 was mounted ( $\pm 0.02 \mu\text{m}/300 \text{ mm}$ ) and an error of holographic longimeter DG-30 (0.01  $\mu\text{m}/30 \text{ mm}$ ) in total must be less than an expected error value of the PB including its important parameter - run-out. The system works in the following way: during the experiment the



скользящего элемента всей плоскостью к одной из поверхностей;

- получить минимальные биения;
- перемещать элементы скольжения без смазки.

Так как ГПС должен скользить обязательно по какой-то опорной поверхности, то эти поверхности (ЭС ГПС и опорная поверхность) подбираются такими, чтобы исключалось прилипание между ними, например, керамика (элемента скольжения) и диабаз (опорная поверхность). Диабаз имеет зернистую структуру даже после тщательной полировки, а между зернами существуют воздушные канавки или, наоборот, выбирать зернистую поверхность у элемента скольжения. Для таких целей имеются довольно большие наборы твердых полированных материалов.

- осуществлять сбор пылинок, встречающихся на пути перемещения, в канавках элемента скольжения, вследствие чего пылинки не попадают между плоскостями и не вносят дополнительную погрешность;
- добиваться большей устойчивости к коррозии из-за возможности использования малокоррозионных материалов типа:

1. твердой керамики на основе  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ;

holographic long meter together with the PB is immovable relative to the investigated moving plate located on a gabrodiabase platform.

At the same time the DG-30 holographic length meter allows to trace the deviations from the flatness of the surface of the investigated slab. It can be seen on Fig.5 that the error of all elements used in the experiment: length gauge DG-30 with PB, investigated slab and gabrodiabase platform was less than  $\pm 0.045 \mu\text{m}$  (90 nm) at the length of 180 mm.

## CONCLUSIONS

The design of the plain bearing therefore allows to:

- improve accuracy of movement of two mechanical units in relation to each other by means of a plain bearing by:
- averaging surface irregularities over the area of the A - SE plane;
- to position the sliding element on the bearing surface, by means of a ball and the contact of the sliding element with the entire plane to one of the surfaces;
- to minimise runout;
- to move the sliding elements without lubrication.

As the HLMPB must slip on a supporting surface, these surfaces (HLMPB and supporting surface)



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Цена 2600 руб.

Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б.

## ТЕХНОЛОГИИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА Трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. – 648 с. ISBN 978-5-94836-447-6

Книга посвящена новейшим технологиям, которые дают возможность на основе данных о виртуальных моделях твердых тел изготавливать физические модели в результате быстрых и легких производственных процессов. Авторы книги – признанные специалисты в области аддитивных технологий, имеющие многолетний опыт работы и исследований. Первое издание задумывалось как базовый учебник, объединивший все литературные источники, посвященные целям и задачам аддитивного производства (АП). Второе издание существенно переработано и дополнено, новая информация включена в дополнительные

разделы и главы. Разработчики АП и представители промышленности найдут полезные сведения в этой книге, поскольку она поможет понять состояние дел в отрасли и перспективы дальнейших исследований. Издание предназначено также для преподавателей, студентов и аспирантов, изучающих аддитивное производство, может быть использовано в качестве автономного курса или как модуль в большой программе по технологии производства.

### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

125319, Москва, а/я 91; тел.: +7 495 234-0110; факс: +7 495 956-3346; e-mail: knigi@technosphere.ru; sales@technosphere.ru



2. бронзо-фторопластового антифрикционного материала, модифицированного фуллероидными наномодификаторами, что приводит к увеличению ресурса в 2÷2,5 раза.
3. Значительно меньшей температурной зависимости элемента скольжения, нежели при его исполнении из металлических конструкций, как у аналога и прототипа.

Вышеуказанные материалы обладают низким коэффициентом расширения, что позволяет использовать элемент скольжения при высоких температурах вплоть до +250°C и выше и делает его применимым в гидротурбинах, в энергомашиностроении, в транспортно- и авиамашиностроении. Они обладают:

- малым трением;
- жесткостью;
- надежностью;
- неизменностью параметров;
- минимальным износом;
- долговечностью.

Они также позволяют исключить электропроводность, что увеличивает его сферу применения в переменных эл/магнитных полях, перемещать его по плоскости по любой траектории, использовать его в паре с более сложной опорной поверхностью, по которой он перемещается, передавая неплоскую форму его нижнего торца, на котором выполнены канавки, и форму опорной поверхности, одновременно прилегая к ней и сохраняя при этом высокую точность перемещения. Это позволит увеличить функциональные возможности подшипника скольжения.

### ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за размещение статей на сайте журнала и передачу их в электронном виде в НЭБ eLIBRARY.RU.

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Direct driven slide guide bearing with lubricant supplying member, and lubricant supplying device (Плоский подшипник скольжения со смазкой для линейной рельсовой направляющей). Патент JP 9296824, МПК: F16C 29/02; 11.18.1997.
2. Linear guide plain bearing (Линейный плоский подшипник). Патент US 2003099414, МПК: F16C 29/02; 29.05.2003.
3. Подшипник скольжения. Патент РФ №2 465 493, МПК: F16C 29/02; пр. 28.02.2011. Турухано Б.Г., Добырин В.В., Турухано Н., Кормин В.Е.

*Декларация о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.*

must be selected so as to avoid sticking between them, e.g. ceramic (sliding element) and diabase (supporting surface). Diabase has a grained structure even after careful polishing, and there are air grooves between the grains, or alternatively, select a grained surface at the sliding element. Quite large sets of hard polished materials are available for this purpose.

- collect the dust particles encountered along the way in the grooves of the sliding element, so that the dust particles do not fall between the planes and do not introduce an additional error.
- The sliding element is more resistant to corrosion due to the possibility of using low-corrosive materials such as:
  1. solid ceramics based on  $\text{Si}_3\text{N}_4$  or
  2. bronze-fluoroplastic antifriction material modified with fulleroid nano-modifiers, which leads to a 2÷2.5-fold increase in the lifetime.

The temperature dependence of the sliding element is considerably lower than that of its metal counterparts and prototypes.

The above-mentioned materials have a low expansion coefficient, which allows the sliding element to be used at high temperatures up to +250°C and higher and makes it applicable in hydraulic turbines, in power engineering, transport and aircraft engineering. They have:

- low friction;
- stiffness;
- reliability;
- parameter stability;
- minimum wear;
- durability.

They also make it possible to eliminate electrical conductivity, which increases its range of application in variable electromagnetic fields, to move it along a plane along any trajectory, to use it in combination with the more complex support surface on which it travels, transferring the non-planar shape of its lower end, on which grooves are made, and the shape of the support surface, while simultaneously adhering to it and maintaining high precision movement. This will increase the functionality of the plain bearing.

### PEER REVIEW INFO

Editorial board thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work. It is also grateful for their consent to publish papers on the journal's website and SEL eLibrary eLIBRARY.RU.

*Declaration of Competing Interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.*

# КЛЮЧЕВОЕ СОБЫТИЕ ОТРАСЛИ:

в центре внимания, в центре Москвы



## НАЦИОНАЛЬНЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ ФОРУМ

[www.oilandgasforum.ru](http://www.oilandgasforum.ru)

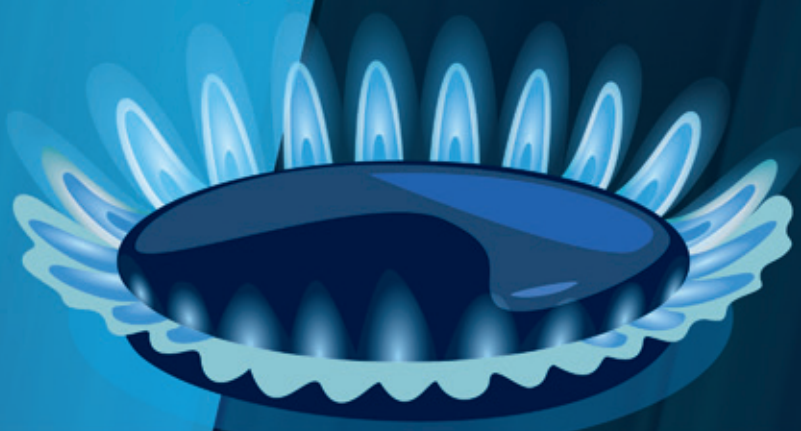
## 21-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА НЕФТЕГАЗ-2022



[www.neftegaz-expo.ru](http://www.neftegaz-expo.ru)

**18–21 апреля 2022**

**Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»**



12+

Реклама



МИНПРОМТОРГ  
РОССИИ



ЭКСПОЦЕНТР

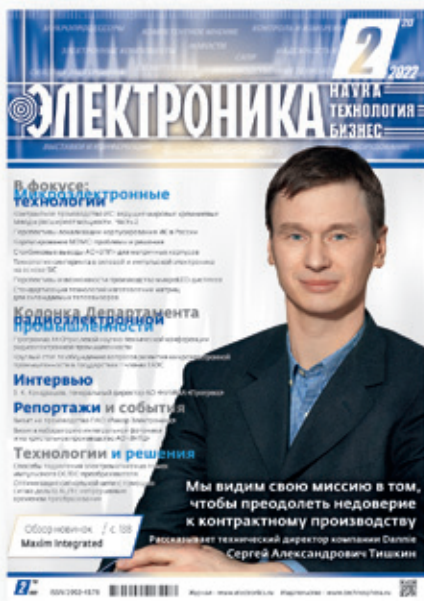






**ТЕХНОСФЕРА**  
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

**100% ГАРАНТИЯ**  
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ



Стоимость 2200 р. за номер  
Периодичность: 10 номеров в год  
[www.electronics.ru](http://www.electronics.ru)



Стоимость 1450 р. за номер  
Периодичность: 8 номеров в год  
[www.photonics.ru](http://www.photonics.ru)



Стоимость 1450 р. за номер  
Периодичность: 6 номеров в год  
[www.j-analytics.ru](http://www.j-analytics.ru)

# ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

[www.technosphera.ru](http://www.technosphera.ru)



Стоимость 1300 р. за номер  
Периодичность: 8 номеров в год  
[www.lastmile.ru](http://www.lastmile.ru)



Стоимость 1300 р. за номер  
Периодичность: 8 номеров в год  
[www.nanoindustry.ru](http://www.nanoindustry.ru)



Стоимость 1800 р. за номер  
Периодичность: 4 номера в год  
[www.stankoinstrument.ru](http://www.stankoinstrument.ru)