

Устройства для фиксации статора цифрового преобразователя угла поворота вала в код

Н. В. СМЕРНОВ, С. М. ЛАТЫЕВ, С. С. МИТРОФАНОВ, Г. В. ЕГОРОВ

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, С.-Петербург, Россия, e-mail: pirate_korsar@mail.ru

Рассмотрены устройства для сопряжения валов унифицированных преобразователей кругового движения с валами станков и машин, исключающие влияние компенсационной муфты.

Ключевые слова: угловые перемещения, преобразователь угловых перемещений, муфта, соединение валов.

The devices for coupling of shafts of rotary encoder and machines have been considered. The devices operate with higher accuracy than compensating couplers.

Key words: angular displacements, rotary encoder, coupler, shafts coupling.

В настоящее время для управления станками и машинами широко применяют цифровые преобразователи кругового движения, производимые рядом фирм в виде унифицированных функциональных устройств [1—3]. Конструктивно они содержат неподвижный статор (цилиндрический корпус преобразователя) и вращающийся ротор с цилиндрическим цельным или полым валом. Для соединения валов преобразователей с валами вращающихся элементов станков и

машин при эксплуатации либо с валами образцовых преобразователей при их метрологическом контроле и поверке обычно используют разнообразные компенсационные муфты, позволяющие компенсировать погрешности взаимного расположения соединяемых валов, такие как несоосность, перекосы, осевые и радиальные биения [4].

Недостатком такого соединения является передача движения компенсационными муфтами с одного вала на другой с погрешностями, зависящими от точности взаимного расположения валов и превышающими погрешности преобразователей. Поэтому когда требуется точная передача движения, а сопрягаемые валы сложно установить соосно, их соединяют глухой муфтой. Статор преобразователя при этом фиксируют устройством, состоящим из двух последовательно расположенных параллелограммных механизмов, ограничивающих его развороты вокруг оси собственного вала с обеспечением других возможных подвижек [5]. Подобные устройства имеют сложную конструкцию и невысокую точность при ограничении разворотов статора преобразователя из-за большого количества кинематических звеньев.

Описание фиксирующих устройств. На рис. 1 представлена кинематическая схема более простого фиксирующего устройства, основанного на одном параллелограммном механизме и рычаге [6]. Устройство содержит основание 1, направляющую вращения 2, рычаг 3, закрепленную на нем стойку 4, параллелограммный механизм с подвижными звеньями 5—7 и сферическими шарнирами 8—11. Элементы сферических шарниров попарно стянуты пружинами растяжения 12, 13, закрепленными соответственно на рычаге и звене (шатуне) параллелограммного механизма 6, которое, в свою очередь, зафиксировано на статоре 14 контролируемого преобразователя. Вал 15 преобразователя соединен глухой муфтой 16 с вращающимся валом 17 станка или образцового преобразователя. Такая конструкция позволяет статору 14 преобразователя смещаться и поворачиваться относительно осей X, Y, Z (за исключением разворота вокруг оси Z) для компенсации радиальных и осевых биений подшипников соединяемых валов, погрешностей их взаимного

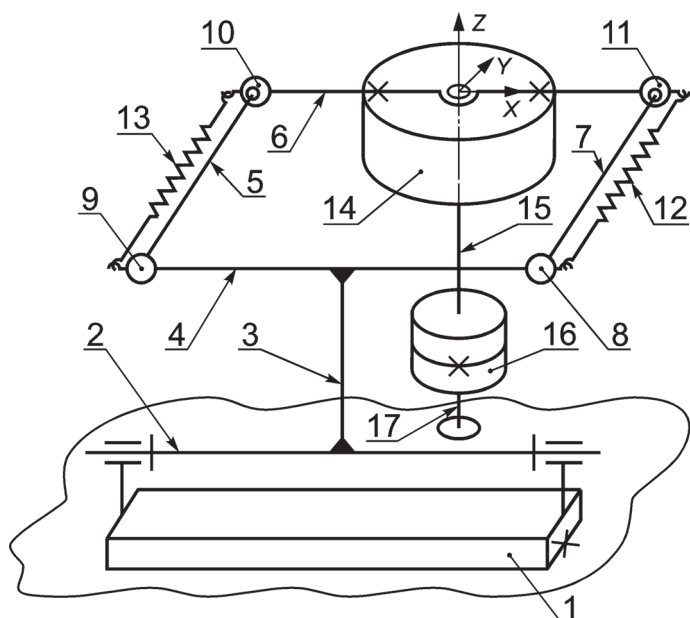


Рис. 1. Устройство для ограничения поворота статора преобразователя:

1 — основание; 2 — направляющая вращения; 3 — рычаг; 4 — стойка; 5—7 — параллелограммный механизм с подвижными звеньями; 8—11 — сферические шарниры; 12, 13 — пружины растяжения; 14 — статор; 15 — вал преобразователя; 16 — глухая муфта; 17 — вращающийся вал станка

расположения при сборке, а также погрешностей соединения валов глухой муфтой.

В устройствах такого вида должны выполняться следующие требования:

высокая точность ограничения поворота корпуса контролируемого преобразователя, измеряемая десятками долями угловой секунды, при достаточно широких допусках на погрешности изготовления и монтажа;

исключение объемных деформаций элементов устройства как при монтаже, так и при вращении валов преобразователей;

контроль поворота корпуса контролируемого изделия в процессе проверки.

Экспериментальные исследования данного устройства показали, что оно работает более точно по сравнению с фиксирующим устройством с двумя параллелограммами. Основным показателем качества параллелограммного механизма является погрешность ограничения поворота статора преобразователя относительно оси его вала (относительно оси Z). Эта погрешность возникает из-за погрешностей длины звеньев и формы шарниров параллелограммного механизма. Например, если звено 5 (или 7) параллелограмма будет иметь погрешность длины Δl_5 (Δl_7), то его звено 6, закрепленное на статоре преобразователя, повернется вокруг оси Z на угол

$$\Delta \varphi_Z(\Delta l_5) = \Delta l_5 / (l_6 \cos \alpha) \text{ или } \Delta \varphi_Z(\Delta l_7) = -\Delta l_7 / (l_6 \cos \alpha), \quad (1)$$

где l_6 — длина звена 6, α — угол наклона звена 5 (или 7) относительно стойки 4 в плоскости параллелограмма, возникающий из-за погрешностей изготовления механизма и отклонения от соосности валов преобразователей.

Суммарное действие этих погрешностей выражается разностью погрешностей длин звеньев 5, 7:

$$\Delta l_{5,7} = |\Delta l_5| - |\Delta l_7|. \quad (2)$$

Таким образом, подставив в выражение (2) соответствующие значения из (1), получим предельный угол поворота звена 6 из-за погрешности длин звеньев 5, 7:

$$\Delta \varphi_Z = [1/\cos \alpha_{\max} - 1/\cos \alpha_{\min}] \delta l_{5,7} / l_6,$$

где $\delta l_{5,7}$ — половина поля допуска на равенство длин звеньев 5, 7.

Для дальнейшего упрощения конструкции фиксирующего устройства и уменьшения источников погрешностей авторы разработали две модификации конструкции, исключающие использование параллелограммного механизма со сферическими шарнирами. На рис. 2 представлена функциональная схема для первого варианта такого устройства с плоской пружиной. На основании 1 одним концом закреплена плоская пружина 2, второй ее конец зафиксирован на плоском прямоугольном рычаге 3. Рабочая поверхность рычага 3 замыкается двумя пружинами растяжения 4 на сферические наконечники 5, размещенные на расстоянии L друг от друга в конических лунках на концах звена 6, закрепленного на статоре преобразователя 7. Основание 1 установлено так, что ось упругой направляющей вращения, создаваемая 2 и 1, параллельна линии, проходящей через центры наконечников 5. Вал 8 преобразователя соединен глухой муфтой 9 с вращающимся валом 10 исполнительного или исследуемого изделия 11. Устройство работает следующим

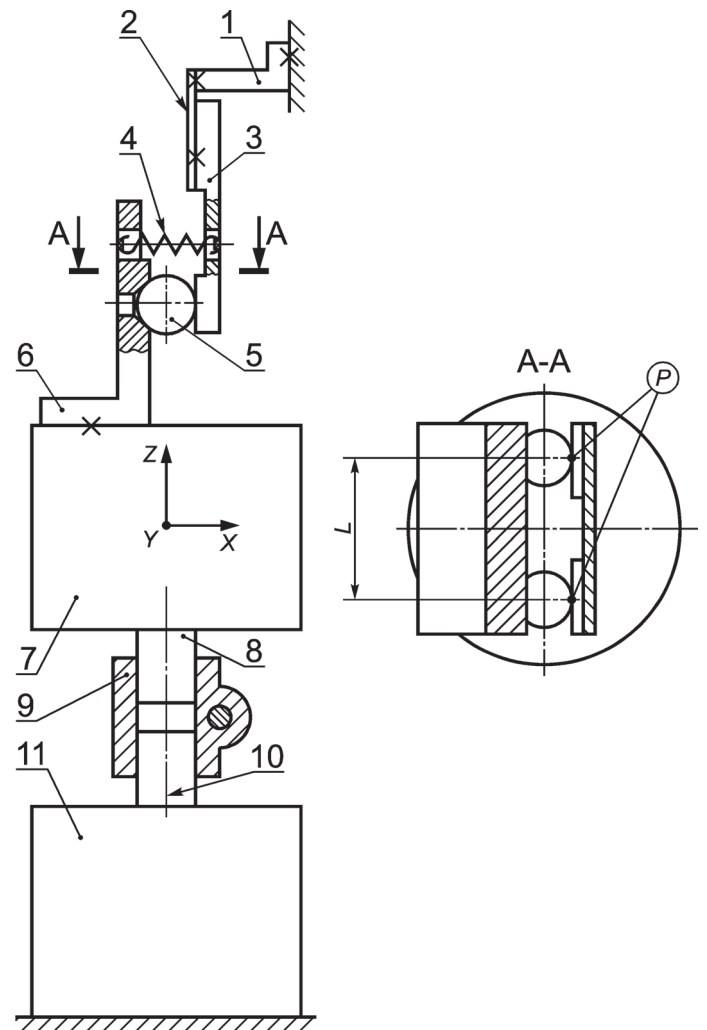


Рис. 2. Функциональная схема фиксирующего устройства с плоской пружиной:

1 — основание; 2 — плоская пружина; 3 — плоский прямоугольный рычаг; 4 — пружины растяжения; 5 — сферические наконечники; 6 — звено, закрепленное на статоре; 7 — преобразователь; 8 — вал преобразователя; 9 — глухая муфта; 10 — вращающийся вал; 11 — исследуемое изделие

образом. При вращении вала 10 его поворот распространяется муфтой 9 на вал 8. Момент вращения вокруг оси Z на корпусе статора 7 передается звеном 6 и наконечниками 5 на рычаг 3, а далее — через плоскую пружину 2 на основание 1, которое создает уравнивающий реактивный момент, ограничивающий поворот преобразователя 7 вокруг оси Z.

Из-за радиальных и осевых биений подшипников преобразователя и исполнительного или исследуемого изделия, а также погрешностей соединения валов глухой муфтой и других причин статор преобразователя при вращении вала 8 должен иметь пять степеней свободы относительно неподвижной пространственной системы координат XYZ. Для точного функционирования преобразователя необходимо ограничить разворот статора только вокруг оси Z, т. е. оси собственного вала, обеспечив смещение вдоль этой оси, а также смещения и развороты относительно осей X, Y. Поскольку звено 6 замыкается пружинами 4 на плоскую рабочую

поверхность рычага 3 сферическими шарами 5 в двух точках контакта P , являющимися кинематическими парами высшего класса, эти кинематические пары отнимают у корпуса преобразователя только две степени свободы: поворот вокруг оси Z и смещение вдоль оси X . Рычаг может поворачиваться вокруг оси упругого шарнира, параллельной оси Y , следовательно его рабочая поверхность при этом повороте перемещается вдоль оси X , не ограничивая подвижность статора преобразователя вдоль нее. Таким образом, статор преобразователя обладает пятью степенями свободы относительно

по пространственным осям X , Y , Z за исключением разворота вокруг оси Z .

При отсутствии избыточных связей в механизмах для точного функционирования устройства необходимо соблюдение следующего условия [7]:

$$q = n + \sum_{k=1}^5 P_k K - 6\omega = 0, \quad (3)$$

где q — количество избыточных (недостаточных) связей; n — число ведущих звеньев устройства; P — класс кинематической пары; K , ω — количество пар данного класса и подвижных звеньев, соответственно.

В рассматриваемом случае $n = 1$, три пары пятого класса, одна пара второго класса и всего три подвижных звена, поэтому по формуле (3) получаем $q = 1 + 5 \cdot 3 + 2 \cdot 1 - 6 \cdot 3 = 0$. Анализ показывает, что в предложенном механизме отсутствуют лишние связи и, следовательно, схема составлена верно.

Второй вариант фиксирующего устройства со штоком, конструктивно отличающийся от рассмотренного выше, представлен на рис. 3. В основании 1 имеется направляющая поступательного движения штока 2, который своей плоской рабочей поверхностью поджимается пружинами 3 к шарам 4 звена 5, закрепленного на статоре преобразователя 6. Устройство функционирует аналогично предыдущему, обеспечивая смещение статора преобразователя вдоль оси X . При вращении вала исполнительного изделия его поворот глухой муфтой передается на вал преобразователя статора 6. Момент вращения вокруг оси Z , возникающий на статоре 6, передается звеном 5 и сферическими наконечниками 4 на шток 2 и основание 1. Реакция основания 1 на вращающий момент создает уравнивающий реактивный момент, ограничивающий поворот статора 6 вокруг оси Z . Основание 1 установлено так, что направляющая движения штока 2 расположена перпендикулярно к линии, соединяющей центры шаров 4. Если направляющая штока является кинематической парой четвертого класса (цилиндр в цилиндре), то согласно (3) получим $q = 1 + 5 \cdot 2 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 1 - 6 \cdot 3 = -1$. Таким образом, разработанное устройство обладает «местной подвижностью», что объясняется возможностью разворота цилиндрического штока в направляющей вокруг оси X . Нежелательный разворот штока устраняется пружинами 3 или конструктивно, например с помощью шпонки.

Разработанные устройства по сравнению с ранее рассмотренными изделиями не содержат параллелограммного механизма, вносящего погрешности, и имеют всего два кинематических сопряжения звеньев. В первом случае для фиксирующего устройства с плоской пружиной (см. рис. 2) — это звено 6, сопряженное через две высшие кинематические пары с плоской рабочей поверхностью рычага 3, и сопряжение рычага 3 с основанием 1 через упругий шарнир. Во втором случае для фиксирующего устройства со штоком (см. рис. 3) — это звено 5, сопряженное через две высшие кинематические пары с плоской рабочей поверхностью стойки 2 и сопряжение стойки 2 с основанием 1 через направляющую поступательного движения. Так как высшие кинематические пары и упругие шарниры имеют меньшие погрешности по сравнению с низшими кинематическими парами [8], по которым сопрягаются звенья параллелограммного механизма, можно сделать заключение, что разработанные устройства будут функционировать точнее.

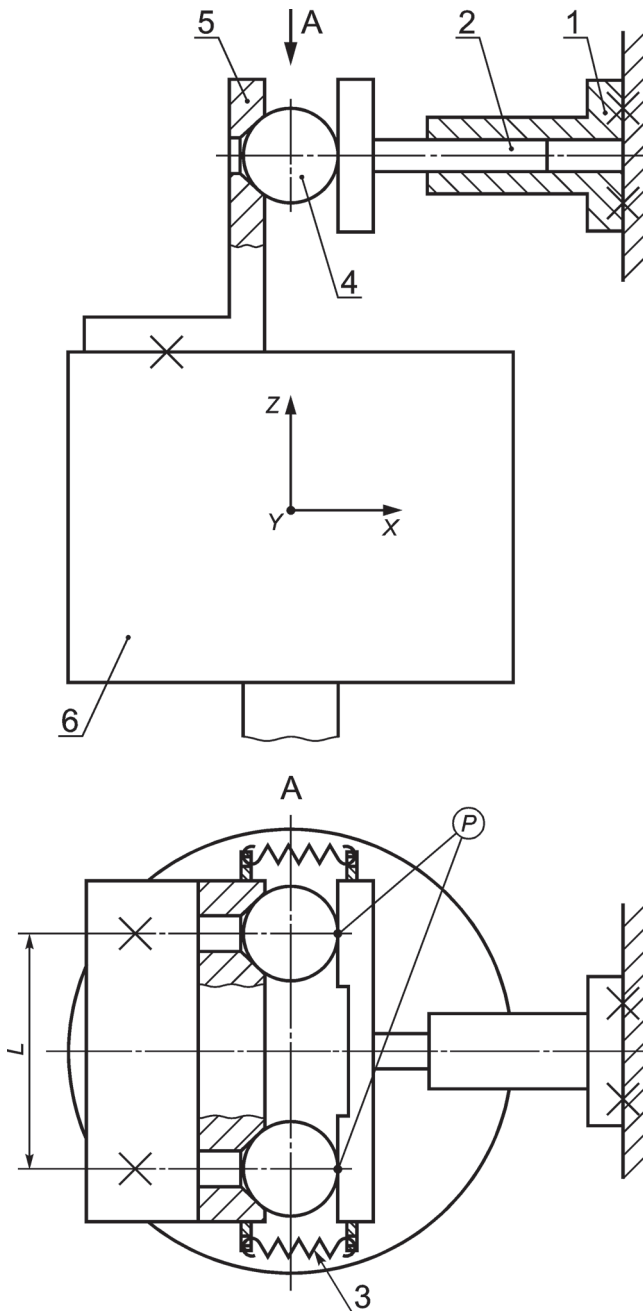


Рис. 3. Функциональная схема фиксирующего устройства со штоком:

1 — основание; 2 — направляющая поступательного движения штока; 3 — пружины; 4 — сферические наконечники; 5 — звено, закрепленное на статоре; 6 — преобразователь

Погрешность работы предложенных устройств для фиксации статора преобразователя круговых перемещений при необходимости можно учесть и снизить. Для этого на статор преобразователя устанавливают автоколлимационное зеркало и с помощью автоколлиматора измеряют его поворот вокруг оси Z, т. е. оси собственного вала.

Заключение. Устройства для фиксации статора преобразователя угла поворота вала в код, обеспечивающие статору все степени подвижности, кроме разворота вокруг собственной оси, позволяют сопрягать преобразователь с валами вращающихся элементов станков и машин при эксплуатации либо с валами эталонных преобразователей при их метрологическом контроле более технологично и точно по сравнению с компенсационными муфтами.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (субсидия № 074-401).

Л и т е р а т у р а

1. **Каталог** продукции фирмы СКБ ИС [Электрон. ресурс]. <http://www.skbis.ru> (дата обращения: 09.09.2014 г.).

2. **Каталог** продукции фирмы Heidenhain [Электрон. ресурс]. <http://www.heidenhain.ru> (дата обращения: 23.07.2015 г.).

3. **Гродецкий Ю. А., Дукаревич Ю. Е., Иванов Ю. М., Синицын А. С.** Абсолютные высокоточные датчики угла нового поколения // Измерительная техника. 2012. № 9. С. 22—25.

4. **Латыев С. М.** Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л.: Машиностроение, 1985.

5. **Иванов Б. Н.** Фиксирующее устройство круговых измерительных преобразователей // Оптико-механическая промышленность. 1984. № 6. С. 49—51.

6. **А. с. 1647224 РФ.** Устройство для ограничения поворота статора преобразователя круговых перемещений / А. Л. Гореев, С. С. Митрофанов, С. М. Латыев, С. М. Колосков, Г. В. Егоров // Открытия. Изобретения. 1991. № 17.

7. **Латыев С. М.** Конструирование точных (оптических) приборов. СПб., Политехника, 2007.

8. **Панов В. А., Кругер М. Я., Кулагин В. В.** Справочник конструктора оптико-механических приборов. Л.: Машиностроение. 1980.

Дата принятия 17.12.2014 г.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

518.6:536.6

Методика дистанционного контроля изотропных материалов путем редукции кубоида ИК-изображений

И. Н. ИЩУК¹, В. В. ОБУХОВ², А. В. ПАРФИРЬЕВ¹, А. М. ФИЛИМОНОВ¹

¹Военно-воздушная академия имени проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, Воронеж, Россия, e-mail: flyfil87@mail.ru

²Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С. П. Королева, Королев, Россия, e-mail: Vladimir.obukhov@rsce.ru

Приведена методика дистанционного контроля изотропных материалов путем постановки прямой задачи теплопроводности на основе решений дифференциального уравнения теплопроводности со сложными граничными условиями и коэффициентной обратной задачи для оценки теплофизических параметров материалов.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение теплопроводности, теплофизические параметры, математическое моделирование, тепловая томограмма.

The procedure of remote control of isotropic materials by the direct definition of heat conduction problem based on the solution of differential equation of heat conductivity with complex boundary conditions and solution of coefficient inverse heat conductivity problem for estimation of thermophysical parameters of materials are presented.

Key words: differential equation of heat conductivity, thermophysical parameters, mathematical modeling, thermal tomogram.

В последнее время в теории и практике исследований теплообменных процессов, в проектировании и моделировании тепловых режимов технических систем интенсивно

развивается направление, основанное на принципах обратных задач теплопроводности. Особое распространение такие методы получили при экспериментальном изучении не-