

УДК 62-791.2

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ СТАНКА-РОБОТА

А. В. ЕГОШИН¹, О. К. АКМАЕВ²

¹alex.egoshin@mail.ru, ²olakm@rambler.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. В статье приведен анализ литературных источников, в которых рассмотрены способы измерения геометрической погрешности станков с классической (последовательной) кинематикой. Показаны преимущества и недостатки каждой системы, а также возможность их использования применительно к станкам с параллельной кинематикой. Рассмотрены бесконтактные (лазерные) и контактные системы контроля.

Ключевые слова: геометрическая точность; последовательная кинематика; параллельная кинематика; бесконтактные системы контроля; контактные системы контроля.

ВВЕДЕНИЕ

Геометрическая погрешность станков появляется в процессе их эксплуатации (приобретенная геометрическая погрешность) и если выходит за рамки допустимых значений, то снижает точность изготовления детали. Поэтому в процессе эксплуатации металлорежущих станков, с определенной периодичностью, выполняется контроль геометрической погрешности станка и вносятся коррективы в управляющую программу. Для этого, применительно к станкам классической компоновки с последовательной кинематикой, используются как бесконтактные, так и контактные способы.

Целью работы является выбор наиболее подходящего способа оперативного контроля геометрической погрешности станка с параллельной кинематикой.

БЕСКОНТАКТНЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Принцип работы **FARO LaserTracker** [1] состоит в измерении двух углов и расстояния до исследуемой точки. Трекер посылает лазерный луч к световозвращающему отражателю, который приводится в соприкосновение с поверхностью измеряемого объекта. Луч, отраженный от цели, воз-

вращается по тому же пути и принимается трекером в той самой точке, откуда он был испущен. Часть отраженного световозвращателем света поступает в измеритель расстояний, который вычисляет расстояние от трекера до рефлектора.

Лазерный трекер содержит два датчика угла поворота головки (энкодера). Эти устройства измеряют угловую ориентацию двух механических осей трекера: оси азимут и оси высоты. Углов, полученных от энкодеров, и расстояния от измерителя достаточно для точного определения положения центра ретрорефлектора. Поскольку центр ретрорефлектора находится всегда на фиксированном расстоянии от измеряемой поверхности, координаты измеряемых точек или поверхностей легко вычисляются.

Принцип действия системы **RENISHAW LASER XL-80** [2] основан на интерференционном методе измерений перемещений, с использованием стабилизированного по частоте гелий-неонового лазера с круговой поляризацией излучения. Пучок излучения лазера разделяется на две ортогональные линейно-поляризованные составляющие, которые после прохождения через оптические элементы, формирующие интерференцию, поступают на поляризации-

онные анализаторы и фотоприемники. Сигналы с фотоприемников используются для определения значения и направления измеряемых перемещений.

Конструктивно системы состоят из лазерного блока и наборов оптических элементов, предназначенных для выполнения различных видов измерений. Для учета влияния на результаты измерений параметров окружающей среды (температура, давление и влажность воздуха, температура измеряемого объекта) системы оснащены блоками компенсации ХС-80. Лазерный блок и блок компенсации соединяются с ПК при помощи USB кабелей.

КОНТАКТНЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерительный датчик ballbar является главным компонентом системы **QC20-W BALLBAR**. Он представляет собой прецизионный линейный преобразователь, изменение длины которого может быть точно измерено в пределах перемещений ± 1 мм относительно его номинальной длины (100 мм). На выходе датчика получают электрические сигналы, которые подвергаются обработке и передаются на компьютер. Это позволяет измерять и анализировать самые незначительные изменения номинальной длины датчика с помощью программного пакета Ballbar 20. В процессе выполнения теста шарики датчика остаются зафиксированными в магнитных опорах с высокой точностью базирования.

Основная идея этого нового измерительного устройства и метода **6D** заключается в том, что гексапод 3-3 можно собирать в различных конфигурациях, что позволяет измерять множество позиций шпинделя.

В качестве наиболее простых и надежных расчетов этих позиций использовалось расположение 3-2-1 точек крепления, что означает, что ножки прикреплены к основанию и креплениям инструмента группами по три, два и один (рис. 1).

Достоинством такой системы является то, что при помощи этой системы можно измерить 46 различных позиций и 125 конфигураций (одну и ту же позицию можно измерить несколькими различными способами).



Рис. 1. Пример сборки для крепления 3-2-1

Координатная пластина с полусферическими отверстиями. Идея заключается в создании псевдо 3D системы. 2D шаровая пластина (рис. 2) [5] должна быть размещена в разных известных местах. С пространственной сеткой, созданной таким образом, становится возможной компенсация пространственной ошибки. Для создания подходящей трехмерной системы необходимо, чтобы были известны точные поступательные и вращательные сдвиги между местоположениями шариковой пластины.

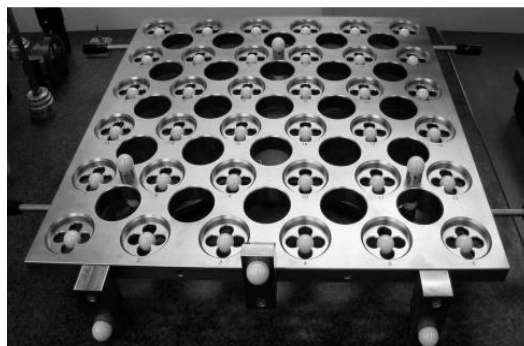


Рис. 2. 2D шариковая пластина

Шариковую пластину можно установить по-разному – используя кинематическую муфту, на проставку, или на саму плиту. Проставки кинематически связаны с опорной плитой в целях обеспечения повторяемости. Используя проставки разной высоты, двумерная сетка преобразуется в трехмерную. С этими установками создается квазитрехмерная система. Точки измерения образуют регулярную сетку с известным относительным положением между всеми точками.

Координатная пластина с полусферическими отверстиями. В работе [6] предлагается выполнить круговое измерение на

специализированной плите для определения местоположения неподвижного шара. На рис. 3 показан внешний вид координатной пластины. Она имеет девять конических отверстий. Помимо этого, используются держатели шариков разной высоты, из-за чего круговое измерение может быть выполнено на разных уровнях высоты. Использование такой пластины позволяет находить неподвижный шар в глобальных координатах, определенных относительно таблицы.



Рис. 3. Координатная пластина с коническими отверстиями

Центры для измерений выбираются таким образом, чтобы они охватывали как можно большую часть всего рабочего пространства машины. В каком бы центре не был установлен держатель – круговые измерения проводятся согласно стандартным приемам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка и внедрение оптических систем измерения для станка-робота является перспективным вариантом, но при этом и наиболее трудоемким. Система QC20-W Ballbar имеет базу для работы со станками классической кинематикой, а для станков с параллельной кинематикой необходимо будет полностью изменить базу данных. 6D система также не подходит, так как позволяет исследовать ошибки для конкретной точки пространства, а не для определенной зоны. Таким образом, наиболее подходящим для станка-робота является система контроля, основанная на использовании координатной пластины с полусферическими отверстиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. FARO Laser Tracker [Электронный ресурс]. URL: <https://www.faro.com/russia/products/faro-laser-tracker/> (дата обращения 19.04.2019). [(2019, Apr. 19). *FARO Laser*

Tracker [Online]. Available: <https://www.faro.com/russia/products/faro-laser-tracker/>]

2. Лазерная система XL-80 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.renishaw.ru/ru/xl-80-laser-system--8268> (дата обращения 20.04.2019). [(2019, Apr. 20). *Laser system XL-80* [Online]. Available: <https://www.renishaw.ru/ru/xl-80-laser-system--8268>]

3. Система QC20-W BallBar [Электронный ресурс]. URL: <https://www.renishaw.ru/ru/qc20-w-ballbar-system--11075> (дата обращения 20.04.2019). [(2019, Apr. 20). *QC20-W BallBar System* [Online]. Available: <https://www.renishaw.ru/ru/qc20-w-ballbar-system--11075>]

4. Nubiola Albert, Bonevlian A. Абсолютная калибровка робота с использованием датчика BallBar // Precision Engineering. 2014. №.38, С. 472-480 [Nubiola Albert, Bonevlian A. "Absolute Robot Calibration With a Single Telescoping Ballbar", in Precision Engineering, vol. 38, pp. 472-480, 2014]

5. Bringmann B. Improving Geometric Calibration Methods for Multi-Axis Machining Centers by Examining Error Interdependencies Effects [Электронный ресурс]. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.501.5332&rep=rep1>, pdf (дата обращения 08.11.2019). [B. Bringmann (2019, Nov. 08). *Improving Geometric Calibration Methods for Multi-Axis Machining Centers by Examining Error Interdependencies Effects* [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.501.5332&rep=rep1&type=pdf>]

6. Ibaraki S. Kinematic Calibration on a Parallel Kinematic Machine Tool of the Stewart Platform by Circular Tests [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/4119215_Kinematic_calibration_on_a_parallel_kinematic_machine_tool_of_the_Stewart_platform_by_circular_tests, pdf (дата обращения 17.12.2019) [Ibaraki S., Yokawa T., Nakagawa M., Matsushita T. (2019, Dec. 17). *Kinematic Calibration on a Parallel Kinematic Machine Tool of the Stewart Platform by Circular Tests* [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/4119215_Kinematic_calibration_on_a_parallel_kinematic_machine_tool_of_the_Stewart_platform_by_circular_tests/link/5720c6f208a6e488a03d39/download]

ОБ АВТОРАХ

ЕГОШИН Алексей Валерьевич, магистрант 2-го курса факультета ИАТМ. Дипл. инж. в обл. мехатроники (УГАТУ, 2018).

АКМАЕВ Олег Кашафович, доцент кафедры АТМ ИАТМ. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1971). Канд. техн. наук по технологии производств ЛА и двигателей (УАИ, 1983).

METADATA

Title: Analysis of methods for evaluating geometric error machine-robot

Authors: A.V. Egoshin¹, O.K. Akmaev²

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹alex.egoshin@mail.ru, ²olakm@rambler.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (23), pp. 43-46, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The article provides an analysis of literary sources, which discusses methods for measuring the geometric error of machines with classical (sequential) kinematics. The advantages and disadvantages of each system are shown, as well as the possibility of their use in relation to machines with parallel kinematics. Contactless (laser) and contact control systems are considered.

Key words: geometric accuracy; sequential kinematics; parallel kinematics; contactless control systems; contact control systems.

About authors:

EGOSHIN, Aleksey Valerich, 2-year undergraduate of the IATM faculty. Certified Engineer in Mechatronics (USATU, 2018).

АКМАЕВ, Oleg Kashafovich, Associate Professor of ATP IATM. Certified mechanical engineer (UAI, 1971). Candidate of Technical Sciences on the technology of production of aircraft and engines (UAI, 1983).