

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННЕЙ РЕЗЬБЫ ДЕТАЛИ „ГАЙКА“ РОЛИКОВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА

В. С. ЗАВЬЯЛОВ, Н. К. МАЛЬЦЕВА

Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: nkaltceva@itmo.ru

Контроль параметров внутренней специальной резьбы детали „гайка“, входящей в конструкцию роликвинтовой передачи электромеханического привода, представляет собой сложную метрологическую задачу и возможен только с использованием современного координатно-измерительного оборудования. Рассмотрены основные проблемы, связанные с контролем параметров высокоточной внутренней резьбы. Проанализированы методы контроля параметров внутренней резьбы, выбрано удовлетворяющее требованиям точности измерительное оборудование, разработана методика оценки параметров внутренней специальной резьбы детали „гайка“. Представленная методика позволяет провести полноценную оценку параметров резьбы (шаг, средний диаметр, а также профиль в осевом сечении) на основе использования контуромера с двусторонним щупом. Описан алгоритм проведения анализа контура резьбы по измеренным параметрам.

Ключевые слова: контроль параметров резьбы, шаг, средний диаметр, контуромер, роликвинтовая передача, электромеханический привод

Введение. Благодаря бурно развивающейся электронике и внедрению компьютерных технологий в производство возможности использования синхронных двигателей со сложными системами управления расширяются, что предъявляет новые требования к функциональным элементам этих систем. Одним из перспективных направлений становится использование электромеханических приводов (ЭМП) в составе систем управления синхронными двигателями. Приводы такого типа применяются в аэрокосмической отрасли [1, 2], автомобилестроении, в системах управления паровыми турбинами [3], в составе технологического металлообрабатывающего оборудования и т.д. В работах [4, 5] приводятся сравнительные характеристики двух типов передач, обеспечивающих требуемые параметры и характеристики работы двигателя: роликвинтовой и шариковинтовой. Показываются преимущества построения привода на базе роликвинтовой передачи.

В составе электромеханических приводов, как зарубежного производства, так и отечественного, широко применяются роликвинтовые передачи (РВП), в их конструкцию входят три основные детали: „винт“, „ролики“ и „гайка“ (рис. 1). При этом гайка с внутренней резьбой специального профиля — наиболее сложный элемент конструкции РВП в изготовлении и контроле.

Точность изготовления специальной резьбы (в том числе внутренней) определяет ресурс и качественные характеристики привода. Неравномерность контакта деталей РВП, возникающая в случае несоблюдения допусков по таким параметрам, как шаг, накопленный шаг и средний диаметр резьбы, может привести к преждевременному износу [6—8] как отдельной детали, так и привода в целом.

Использование надежных методов контроля качества в производстве высокотехнологичной продукции, к которой относится ЭМП с РВП, является залогом ее конкурентоспособности.



Рис. 1

Контроль параметров резьбы — сложная метрологическая задача. Существует множество методов поэлементного контроля наружной резьбы, в то время как для внутренней резьбы, пожалуй, наиболее широко используются калибры, что не позволяет обеспечить должный контроль требований к резьбовым соединениям РВП.

На современном цифровом производстве возникает потребность также в полной автоматизации и процесса контроля качества продукции. Однако методы контроля качества резьбовых поверхностей уступают в степени автоматизации методам их изготовления и обработки, поэтому поиск перспективных способов (с точки зрения возможной автоматизации) оценки качества резьбовых соединений, которой и посвящена настоящая работа, является задачей актуальной.

Методы контроля резьбы. Вопросы контроля высокоточной резьбы поднимались в отечественной и зарубежной литературе. В статьях [9—12] описана методика контроля таких параметров, как шаг резьбы, угол профиля и прямолинейность профиля резьбы, где в качестве измерительного оборудования рассматривается контуромер. Однако затронуты только вопросы оценки качества деталей РВП с наружной резьбой, методика наиболее близка к поставленной задаче, отсутствие информации по контролю параметров среднего диаметра резьбы делает ее неприменимой для контроля параметров резьбы детали „гайка“ РВП.

Работы [13, 14] посвящены измерению параметров резьбы с использованием длинномера, который позволяет контролировать средний диаметр и шаг резьбы и при этом обеспечивает достаточно высокую точность. Однако описанные методы подходят для измерения параметров резьбы небольшой протяженности, то есть тех деталей, у которых длина внутренней резьбы меньше диаметра, например, резьбовых калибров.

В работе [15] для оценки параметров резьбы использован томограф. Этот метод, с одной стороны, обеспечивает наиболее полную оценку параметров детали, а с другой — имеет достаточно высокую неопределенность измерения $MPE_E = 4,5 + L/100$ мкм, что не позволяет использовать его для контроля параметров внутренней резьбы гайки в РВП.

В работах [16, 17] рассматриваются оптические методы оценки профиля резьбы с использованием: позиционно-чувствительного устройства и лазера, а также обработки изображений.

В работе [18] предлагается использовать специальный измерительный наконечник (пластину с профилем, соответствующим номинальному профилю резьбы длиной, равной длине зацепления) для измерения приведенного среднего диаметра согласно ISO 5408:2009. Недостатки методики — необходимость изготовления высокоточного измерительного наконечника для каждого шага резьбы и отсутствие информации об остальных параметрах резьбы, кроме приведенного среднего диаметра.

В работе [19] на основании измеренных данных рассчитывается приведенный средний диаметр, или „виртуальный калибр“. Это позволяет оценить собираемость с ответной деталью, а также равномерность контакта витков гайки с витками роликов.

В настоящей работе в качестве измерительного оборудования для оценки параметров внутренней специальной резьбы использован контуромер Mitutoyo SV-C4500 [20]. Контуромер имеет шесть осей: три линейных X , Y , $Z2$ — для позиционирования детали, $Z1$ — ось измерительного щупа, $T1$, $T2$ — две поворотные (для решения рассматриваемой задачи $T2$ не используется). Модульная структура контуромера позволяет убирать неиспользуемые приводы, что повышает максимальный (предельный) вес измеряемой детали. Оси Z различаются точностью и ходом: $Z1$ дает большую точность, но ограничивает диапазон измерения по Z до 60 мм, $Z2$ дает больший диапазон перемещения (500 мм), но снижает точность измерения. Стандартный щуп для двустороннего измерения имеет высоту 20 мм. Измерительный наконечник радиусом порядка 25 мкм выполнен из твердого сплава.

Данное оборудование внесено в государственный реестр средств измерения и имеет следующие значения неопределенности измерения размеров по осям при $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$:

$$X = 0,8 + 4L/200, Y = 2 + 2L/100, Z_1 = 0,07 + |0,02H|, Z_2 = 1,5 + 10H/1000,$$

где L — расстояние перемещения, H — изменяющаяся высота.

Методика измерения внутренней резьбы роликовинтовой передачи состоит из двух этапов:

— сканирование контура резьбы. Сканирование в осевом сечении осуществляется на контурометре Mitutoyo SV-C4500. Перед измерением необходимо откалибровать его по специальному эталону и выставить ось измерения коллинеарно с осью оснастки. Для выставления используется поворотная ось, дискретность которой составляет $0,004^\circ$, оценка влияния перекоса детали на точность измерения на данном этапе не проводилась.

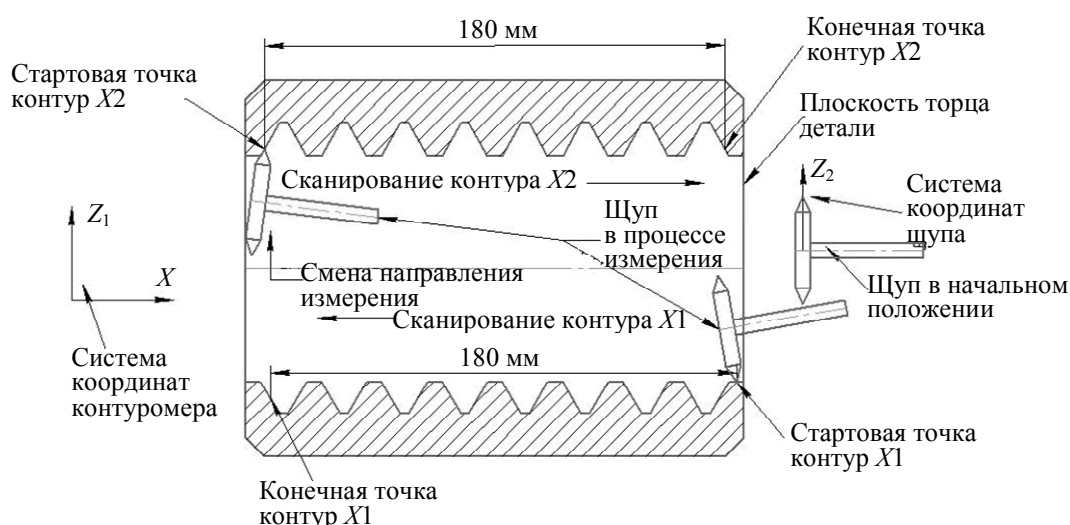


Рис. 2

Перед началом измерения гайка устанавливается на предварительно выставленную оснастку (в нашем случае — измерительную призму). Процесс перемещения щупа при сканировании резьбового контура иллюстрирует рис. 2. Щуп в нулевом положении по оси Z_2 подводится на расстояние 10 мм от плоскости торца детали примерно на уровне оси резьбовой поверхности. Щуп опускается до контакта с деталью нижним измерительным наконечником, после чего этим наконечником сканируется контур X_1 и изменяется направление измерительного усилия. Аналогичным образом сканируется X_2 . После заполнения заголовка протокола результаты сканирования обоих контуров одним файлом (с расширением .dat) сохраняются в компьютере контурометра;

— обработка полученных координат контура резьбы. Исходные данные для расчета параметров резьбы находятся в указанном файле, содержащем координаты точек по двум осям и служебную информацию об измеренных контурах: единицы измерения и число точек. Длина каждого измеренного контура около 160 мм, при этом он содержит от 15 000 до 20 000 точек и от 50 до 130 витков резьбы в зависимости от шага.

В первую очередь необходимо разделить координаты точек на два массива по соответствующим контурам. Помимо координат каждый массив содержит номер точки и название контура.

Полученные точки сохранены в системе координат контурометра, поэтому для удобства дальнейших расчетов выполним разворот „черновой“ системы координат, который производится по уравнению линейной регрессии для всех точек, затем координаты точек предварительно разбиваются по принадлежности к номеру витка и участку профиля: вершина, образующая или впадина. После вписывания касательных окружностей в каждый виток и чистового разворота системы координат это разбиение будет произведено повторно. Разворот

„чистой“ системы координат строится по биссектрисе прямых, соединяющих центры всех вписанных в витки одного контура окружностей.

Для измерения среднего диаметра внутренней резьбы в каждую впадину витка измеренного профиля необходимо вписать окружность заданного конструктором диаметра. Для этого разбиваем массив координат точек, относящихся к одному контуру, на подмассивы — для каждой впадины. Предварительно принимаем за искомую точку с координатами $x_0 = x, y_0 = y + d$ и рассчитываем зазор между окружностью и профилем для каждой образующей профиля:

$$\varepsilon = \sqrt{\min\left((x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2\right)} - d. \quad (1)$$

Смещаем координату центра на $\varepsilon \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)$, повторяем расчет до получения $\varepsilon < 10^{-10}$.

Использование угла 45° вместо номинального угла профиля позволяет проводить расчет для разных типов гаек без увеличения погрешности.

После расчета координат всех центров вписанных во впадины окружностей производится разворот системы координат. За направление оси X принимается биссектриса двух линий, построенных по центрам всех окружностей. Точки, расположенные от центра окружности на расстоянии половины шага, считаются принадлежащими одному витку. Координаты границ участков профиля витка заданы относительно центра окружности в конструкторской документации.

Для каждого витка рассчитывается шаг как разность координат X центра вписанных окружностей для соседних витков. Накопленная погрешность шага считается как сумма отклонений шага всех предыдущих витков. Также считается значение накопленной погрешности резьбы на участке, равном длине зацепления:

$$CSP = \sum_{i=1}^n (x_i - SP), \quad (2)$$

где CSP — накопленная погрешность шага резьбы, n — число витков резьбы, X_i — координата вписанной во впадину окружности, SP — номинальное значение шага резьбы.

В настоящий момент значение среднего диаметра внутренней резьбы определяется калибрами. Однако оценка колебания среднего диаметра возможна только с использованием высокоточных измерительных машин. Из-за технологических особенностей изготовления многозаходной резьбы многозубыми режущими пластинами диаметр, рассчитанный для вписанных окружностей, относящихся к одному заходу, может сильно отличаться от диаметров окружностей, относящихся к разным заходам. Для учета этого для каждой окружности нижнего контура (контур 2 на рис. 2) будет рассчитано три значения диаметра (рис. 3):

$$\begin{aligned} D2_1_i &= y_X2_{i-1} - y_X1_i, \\ D2_2_i &= y_X2_i - y_X1_i, \\ D2_3_i &= y_X2_{i+1} - y_X1_i, \end{aligned} \quad (3)$$

где i — номер витка, y_X1 — координата центра окружности, вписанной в контур $X1$, y_X2 — координата центра окружности, вписанной в контур $X2$.

В конструкторской документации задается допустимая разница полученных значений среднего диаметра резьбы для соседних витков на длине зацепления с ответной деталью и на всей длине резьбы. Полученные данные позволяют оценить внутренний диаметр гайки. Для этого у каждого витка резьбы выделяются точки, относящиеся к вершине резьбы, для них находится среднее значение координаты Y , разница координат для противоположащих контуров равняется диаметру вершин для данного витка.

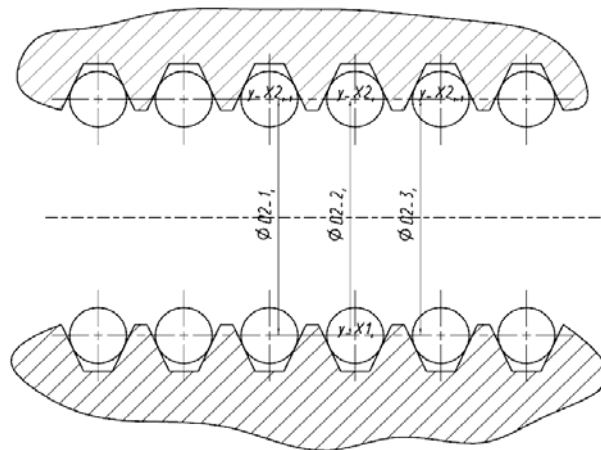


Рис. 3

Оценка результатов. Оценка точности измерения для координатно-измерительных установок является достаточно сложной задачей. Руководство Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement [21] описывает процедуру расчета, однако практическая реализация данных расчетов требует сбора значительно большего количества данных. Для решения на практике данной задачи используется моделирование методом Монте-Карло [22].

Из всех параметров, измеряемых по данной методике, наиболее прост для оценки точности диаметр отверстия под резьбу. В качестве альтернативного метода рассмотрим измерение отверстия нутромером pistolетного типа с предельной допускаемой абсолютной погрешностью измерения $\pm 0,004$ мм и сравним результаты с результатами, полученными с помощью контуромера.

Для 15 деталей собраны в сводную таблицу результаты измерения диаметра отверстия под резьбу с помощью нутромера (одно значение на деталь) и контуромера (для каждой детали около ста значений). Затем было рассчитано расхождение δ полученных значений, диаграмма размахов для данного параметра представлена на рис. 4. Согласно рисунку, для W_18_17957*17 и W_18_17957*7 результаты измерений некорректны, поскольку имеется большое количество точек, выходящих за полтора межквартильных расстояния.

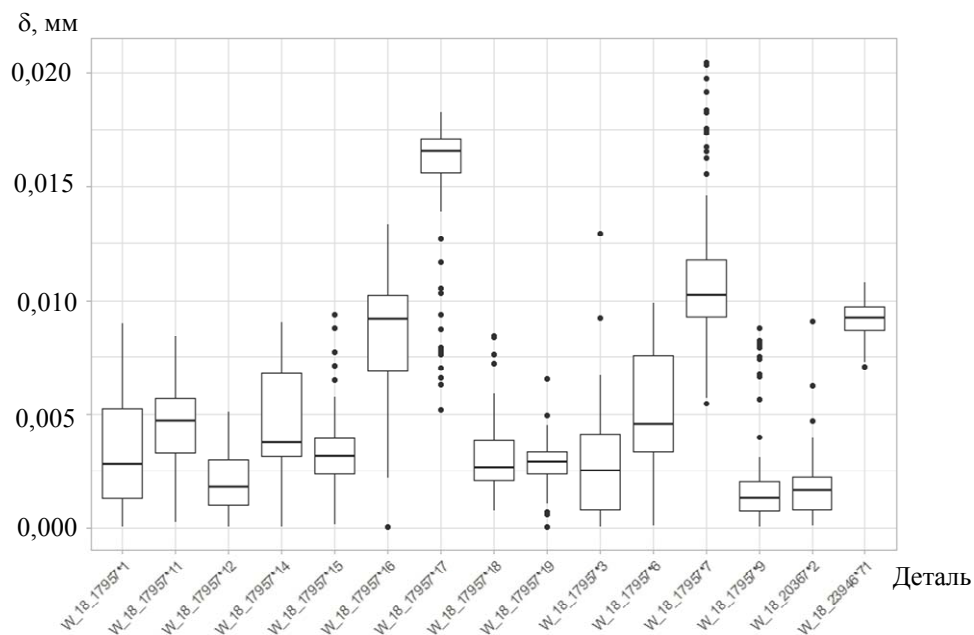


Рис. 4

Обозначение детали	Диаметр, мм (нутромер)	Диаметр, мм (контуромер)			
		минимальное значение	максимальное значение	среднее значение	размах
W_18_17957*1	39,512	39,5090	39,5210	39,5153	0,0119
W_18_17957*11	39,516	39,5109	39,5244	39,5192	0,0135
W_18_17957*12	39,523	39,5197	39,5281	39,5246	0,0084
W_18_17957*14	39,505	39,4972	39,5140	39,5084	0,0169
W_18_17957*15	39,502	39,4926	39,5066	39,5040	0,0140
W_18_17957*16	39,518	39,5046	39,5214	39,5097	0,0168
W_18_17957*17	39,503	39,5082	39,5212	39,5185	0,0130
W_18_17957*18	39,504	39,4956	39,5089	39,5059	0,0134
W_18_17957*19	39,51	39,5051	39,5166	39,5073	0,0115
W_18_17957*3	39,53	39,5233	39,5429	39,5307	0,0196
W_18_17957*6	39,502	39,4967	39,5119	39,5068	0,0152
W_18_17957*7	39,528	39,5075	39,5225	39,5168	0,0150
W_18_17957*9	39,506	39,4972	39,5080	39,5043	0,0108

Среднее расхождение результатов для двух методов составляет 0,005 мкм при погрешности нутромера 4 мкм. Для деталей с большим размахом значений диаметра отверстия под резьбу отмечается увеличение диаметра отверстия на одном из концов детали, при этом результаты измерения диаметра отверстия с помощью нутромера содержат только лишь его минимальное значение.

На основании изложенного выше можно сделать вывод о том, что погрешность измерения диаметра отверстия под резьбу не превышает $\pm 0,005$ мкм. Для более точного определения погрешности измерения необходимо сравнение с результатами, полученными более точным средством.

Заключение. Контроль параметров внутренней специальной резьбы детали „гайка“, входящей в конструкцию РВП, представляет собой сложную метрологическую задачу и возможен только с использованием современного координатно-измерительного оборудования. Представленная методика позволяет произвести полноценную оценку параметров такой резьбы на основе использования контуромера с двусторонним щупом. Согласно методике контролируются все параметры резьбы: шаг, средний диаметр, а также профиль в осевом сечении. При этом экспериментальные данные только одного параметра — диаметра отверстия под резьбу показали хорошую сходимость с результатами аналогичных измерений с использованием нутромера. Однако нутромер не позволяет измерять остальные параметры резьбы и оценивать ее профиль.

К одной из задач дальнейших исследований следует отнести подробный анализ согласно Руководству по выражению неопределенности измерения JCGM 100:2008 GUM 1995, а также расчет виртуального среднего диаметра согласно руководству по калибровке Calibration Guide EURAMET cg-10.

Статья написана в соответствии с научно-исследовательской работой по созданию высокотехнологичного производства конфигурируемых преобразователей частоты для синхронных прецизионных быстродействующих силовых электромеханических приводов нового поколения в наукоемких областях промышленности (станкостроительная, авиастроительная, судостроительная, электротехническая, нефтегазовая) и энергетики в Университете ИТМО, при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 „О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных

заведений, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства“.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов Д. С. и др. Перспективные роликовинтовые механизмы электромеханических приводов для авиационной и ракетной техники // Вестн. воздушно-космической обороны. 2017. № 1. С. 66—72.
2. Юшков К. С., Юрьева Р. А. Разработка структурной схемы электромеханического привода, предназначенного для системы управления паровыми турбинами // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2016. Т. 5. С. 311—313.
3. Зенкина Я. П. О нагрузочной способности винтовых механизмов качения // Политехнический молодежный журнал. 2017. № 8(13). С. 8.
4. Юрьева Р. А., Мальцева Н. К., Кульпина А. Д., Юшков К. С., Иванова А. С. Особенности конструирования электромеханического привода // Наука и бизнес: пути развития. 2015. № 10. С. 21—23.
5. Козырев В. В. Конструкции роликовинтовых передач и методика их проектирования. Владимир: ВГУ, 2004. 100 с.
6. Козырев В. В. Конструкции, теория и методика проектирования и исследования планетарных передач винт—гайка с резьбовыми роликами и мехатронных модулей на их базе. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. 238 с.
7. Шинаков И. В., Жданов А. В., Кузнецова С. В. Роликовинтовые механизмы с дополнительным зубчатым замыканием зубьев // Фундаментальные исследования. 2012. № 3. С. 145—148.
8. Блинов Д. С., Морозов М. И., Анисимов П. Д. Математическое и программное обеспечение для обработки результатов метрологических измерений деталей роликовинтовой передачи // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. № 1. С. 12—29.
9. Блинов Д. С., Ряховский О. А., Соколов П. А. и др. Способ измерения профилей резьб роликов планетарных ролико-винтовых передач и обработка результатов // Вестник машиностроения. 1998. № 7. С. 26—29.
10. Морозов В. В. Роликовинтовые механизмы. Кинематические характеристики. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2005. 78 с.
11. Блинов Д. С., Морозов М. И. Перспективные конструкции планетарных роликовинтовых механизмов // Изв. вузов. Машиностроение. 2013. № 3. С. 62—72.
12. Блинов Д. С., Колобоев А. Ю., Дикун Е. В. Проектирование планетарных роликовинтовых механизмов для электромеханических приводов летательных аппаратов (теория) // Справочник. Инженерный журнал. 2018. № 8. С. 14—23.
13. Егоров И. М., Алексанин С. А., Федосовский М. Е., Птицына А. С. Влияние погрешностей изготовления элементов механизма параллельных кривошипов на кинематическую точность планетарного цевочного редуктора // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. № 10. С. 76—80.
14. Захаренко Ю. Г., Кононова Н. А., Москалев А. А., Аскарлова Э. Ф., Михеев Е. А. Совершенствование эталонной базы в области метрологического обеспечения резьбовых соединений // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16, № 2. С. 338—344.
15. Косаревский С. В., Латыпов В. Н. Математическое моделирование комплексного контроля резьбы на основе данных, полученных с устройств компьютерной томографии // Математическое моделирование. 2011. Т. 23, № 6. С. 68—80.
16. Tong Q. B., Ding Z. L., Chen J. C., Ai L. L. and Yuan F. The Research of Screw Thread Parameter Measurement Based on Position Sensitive Detector and Laser // J. of Physics: Conf. Series (ISIST'2006). 2006. Vol. 48. P. 561.
17. Rao Z. et al. Screw thread parameter measurement system based on image processing method // Intern. Symp. on Photoelectronic Detection and Imaging 2013: Micro/Nano Optical Imaging Technologies and Applications. Intern. Society for Optics and Photonics. 2013. Vol. 8911. P. 891109.
18. Qiu Z. et al. A novel method for measuring the virtual pitch diameter of a thread // Measurement Science and Technology. 2018. Vol. 29, N 11. P. 115008.

19. Ikonotov P., Okamoto H., Tanaka F., Kishinami T. Inspection method for geometrical tolerance using virtual gauges // Robotics, Automation. Proc. IEEE Intern. Conf. 1995. P. 550—555.
20. РОССТАНДАРТ. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [Электронный ресурс]: <http://new.fundmetrology.ru/10_tipu_si/11/7list.aspx>. (Дата обращения: 01.04.2019).
21. ISO I. E. C., OIML B. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Geneva, Switzerland, 1995.
22. Balsamo A. et al. Evaluation of CMM uncertainty through Monte Carlo simulations // CIRP Annals-Manufacturing Technology. 1999. Vol. 48, N 1. P. 425—428.

Сведения об авторах

- Владимир Станиславович Завьялов** — студент; Университет ИТМО; факультет систем управления и робототехники; E-mail: zavyalov_v@diakont.com
- Надежда Константиновна Мальцева** — канд. техн. наук; Университет ИТМО; факультет систем управления и робототехники; E-mail: nkmaltsceva@itmo.ru

Поступила в редакцию
22.05.19 г.

Ссылка для цитирования: Завьялов В. С., Мальцева Н. К. Измерение параметров внутренней резьбы детали „гайка“ роликовинтовой передачи электромеханического привода // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 8. С. 749—757.

MEASUREMENT OF INTERNAL THREAD OF THE NUT PART OF A ROLLER SCREW TRANSMISSION OF AN ELECTROMECHANICAL DRIVE

V. S. Zavyalov, N. K. Maltseva

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: nkmaltsceva@itmo.ru

A control over parameters of the internal special thread of the nut part included in the design of a roller screw transmission of an electromechanical drive is a difficult metrological task and is possible only using modern coordinate measuring equipment. The main problems associated with the control of the parameters of high-precision internal thread are considered. Methods of controlling the parameters of the internal thread are analyzed, measuring equipment that meets the accuracy requirements is selected, a method for evaluating the parameters of the internal special thread of the nut part is developed. The presented technique allows a full assessment of the thread parameters (pitch, average diameter, and the profile in axial section) based on the use of a contour meter with a double-sided probe. An algorithm of the analysis of the thread contour using the measured parameters is described.

Keywords: thread control, thread pitch, mean thread diameter, contour meter, roller screw drive, electromechanical actuator

REFERENCES

1. Blinov D.S. et al. *Aerospace Defense Herald*, 2017, no. 1, pp. 66–72. (in Russ.)
2. Yushkov K.S., Yur'yeva R.A. *Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University*, 2016, no. 5, pp. 311–313. (in Russ.)
3. Zenkina Ya.P. *Politechnical student journal*, 2017, no. 8(13), pp. 8. (in Russ.)
4. Yur'yeva R.A., Mal'tseva N.K., Kul'pina A.D., Yushkov K.S., Ivanova A.S. *Science and Business: Ways of Development*, 2015, no. 10, pp. 21–23. (in Russ.)
5. Kozyrev V.V. *Konstruktsii rolikovintovykh peredach i metodika ikh proyektirovaniya* (Designs of Roller Helical Gears and Methods of Their Design), Vladimir, 2004, 100 p. (in Russ.)
6. Kozyrev V.V. *Konstruktsii, teoriya i metodika proyektirovaniya i issledovaniya planetarnykh peredach vint-gayka s rez'bovymi rolikami i mekhatronnykh moduley na ikh baze* (Designs, Theory and Methodology for the Design and Study of planetary screw-nut Gears with Threaded Rollers and Mechatronic Modules Based on Them), Vladimir, 2011, 238 p. (in Russ.)
7. Shinakov I.V., Zhdanov A.V., Kuznetsova S.V. *Fundamental research*, 2012, no. 3, pp. 145–148. (in Russ.)
8. Blinov D.S. *Science & Education, Bauman Moscow State Technical University*, 2015, no. 1, pp. 12–29 (in Russ.)
9. Blinov D.S., Ryakhovskiy O.A., Sokolov P.A. et al. *Vestnik mashinostroyeniya*, 1998, no. 7, pp. 26–29. (in Russ.)
10. Morozov V.V. *Rolikovintovyye mekhanizmy. Kinematicheskiye kharakteristiki* (Rollerscrew Mechanisms. Kinematic Characteristics), Vladimir, 2005, 78 p. (in Russ.)

11. Blinov D.S., Morozov M.I. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2013, no. 3, pp. 62–72. (in Russ.)
12. Blinov D.S., Koloboev A.Yu., Dikun E.V. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal* (Handbook. An Engineering journal with appendix), 2018, no. 8, pp. 14–23. (in Russ.)
13. Egorov I.M., Aleksanin S.A., Fedosovsky M.E., Ptitsyna A.S. *Journal of Instrument Engineering*, 2014, no. 10, pp. 76–80 (in Russ.)
14. Zakharenko Yu.G., Kononova N.A., Mosckalev A.A., Askarova E.F., Mikheyev E.A. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, no. 2(16), pp. 338–344. DOI: 10.17586/2226-1494-2016-16-2-338-344 (in Russ.)
15. Kosarevskiy S.V., Latypov V.N. *Mathematical Models and Computer Simulations*, 2011, no. 6(23), pp. 68–80. (in Russ.)
16. Tong Q.B., Ding Z.L., Chen J.C., Ai L.L., and Yuan F. *Journal of Physics: Conference Series (ISIST'2006)*, 2006, vol. 48, pp. 561.
17. Rao Z. et al. *International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2013: Micro/Nano Optical Imaging Technologies and Applications. – International Society for Optics and Photonics*, 2013, vol. 8911, pp. 891109.
18. Qiu Z. et al. *Measurement Science and Technology*, 2018, no. 11(29), pp. 115008.
19. Ikonov P., Okamoto H., Tanaka F., Kishinami T. *Robotics, Automation. Proceedings. IEEE International Conference*, 1995, pp. 550–555.
20. http://new.fundmetrology.ru/10_tipy_si/11/7list.aspx. (in Russ.)
21. *ISO I.E.C., OIML B. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, Geneva, Switzerland, 1995.
22. Balsamo A. et al. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 1999, no. 1(48), pp. 425–428.

Data on authors

- Vladimir S. Zavyalov** — Student; ITMO University, Department of Control Systems and Robotics;
E-mail: zavyalov_v@diakont.com
- Nadezhda K. Maltseva** — PhD; ITMO University, Department of Control Systems and Robotics;
E-mail: nkaltseva@itmo.ru

For citation: Zavyalov V. S., Maltseva N. K. Measurement of internal thread of the nut part of a roller screw transmission of an electromechanical drive. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 8. P. 749–757 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-8-749-757