

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНОГО ЦЕНТРА С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В статье рассмотрен вопрос повышения точности позиционирования и интерполяции круговых траекторий для шлифовального станка с ЧПУ В3700Ф4 с системой ЧПУ Siemens 802D. В данной работе описана методика оперативного определения различных неточностей реальных перемещений станка с помощью лазерного интерферометра и прибора для измерения точности отработки круговых траекторий с достижимой экономией времени в 40–50 %. Исследованы показатели точности позиционирования, определены основные причины, создающие разность между действительными и заданными перемещениями. Измерен эффект восстановления точности путем создания предварительного натяга в ШВП заменой сепаратора ходовой гайки оси X на точность перемещений станка.

Ключевые слова: шлифовальный станок, ремонт оборудования, лазерный интерферометр, люфт в ШВП, Ballbar.

Введение. Основной путь развития машиностроения в современных реалиях направлен в сторону повышения показателей качества деталей изготавливаемых в автоматическом режиме на оборудовании, оснащённом системами числового программного управления (ЧПУ). Для повышения точности обработки применяется множество различных действий от проектирования специального прецизионного оборудования [1] до разработки методик диагностики, ремонта и восстановления точности станка различными способами [2, 3].

К прецизионным высокоскоростным многокоординатным станкам с ЧПУ предъявляются повышенные требования к точности исполнения как интерполяционных движений, так и позиционирования рабочих узлов станка. Получение точных размеров детали с требуемой шероховатостью невозможно без постоянного поддержания станка в нормируемом состоянии по мощности, надёжности и точности. В данный момент широкое распространение получают методы определения коррекции первичных отклонений подвижных узлов станка, к которым относятся, в частности, люфты и неперпендикулярности осей [4]. Компенсация накопленной погрешности шага ходового винта, зазоров в приводе подачи, тепловых деформаций может производиться по имеющимся алгоритмам коррекции, исполняемых системой ЧПУ [5, 6]. Их редукция или полное устранение положительно сказывается как на точности, так и на стабильности обработки. Но для проведения подобных мероприятий необходимо определить значения коррекций.

В настоящей статье представлена методика оперативного измерения ошибок позиционирования при прямолинейных движениях рабочих узлов станка с ЧПУ с применением методов лазерной интерферометрии с последующим уменьшением ошибки реверса (далее — люфта).

Стоит заметить, что по данной методике картина точности несколько ниже, однако длительность процесса измерения по обычной подробной методике не всегда допустима в условиях современного российского производства. В некоторых случаях приходится останавливать не только производство на диагностируемом оборудовании, но и на соседних станках, где присутствуют различные ударные нагрузки: долбление, работа прессы и другие. В таких ситуациях для уменьшения возможных экономических потерь применение нижеописанной методики весьма оправданно.

На базе Омского государственного технического университета имеется парк обрабатывающих центров с ЧПУ. Вследствие естественного износа некоторые единицы оборудования подвергаются диагностике, ремонту, наладке, регулировке и восстановлению [7–9].

Объект исследования. В данной статье объектом исследования являются точностные характеристики шлифовально-заточного центра с ЧПУ В3700Ф4 — это четырехкоординатный станок, предназначенный для круглого и плоского шлифования. Компонировка станка представлена на рис. 1. На станине впереди установлено основание стола. На направляющих основания стола установлен с возможно-

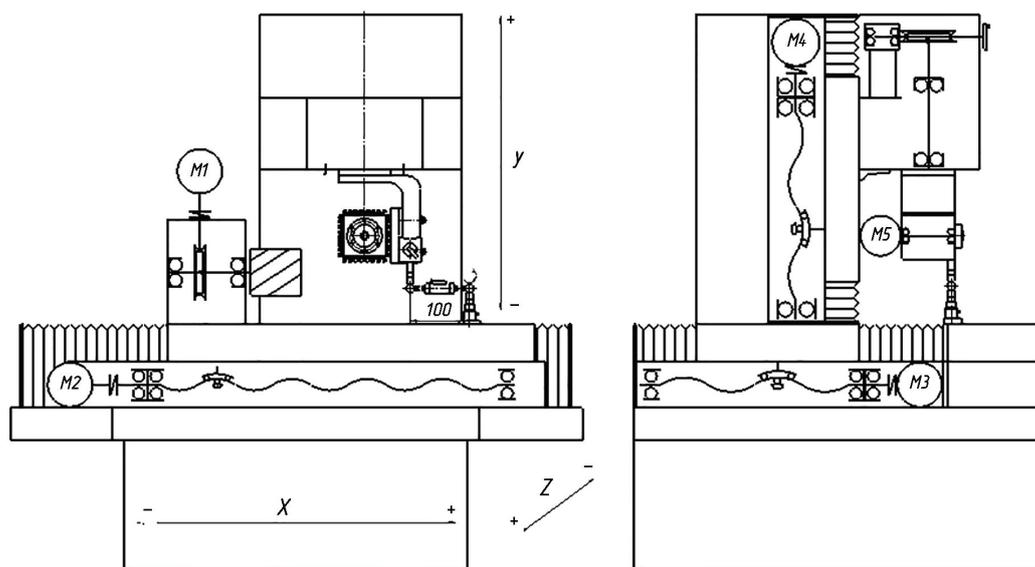


Рис. 1. Кинематическая структура шлифовального станка

стью продольного перемещения стол, на котором смонтирована бабка изделия. Сзади станины установлена поперечная каретка, на подвижном столе которой установлена колонна. На подвижном ползуне колонны смонтирована шпиндельная бабка с инструментом.

В последнее время данный станок использовался преимущественно для переточки режущего инструмента в полуавтоматическом режиме. Вследствие значительных нагрузок при повторяющихся коротких перемещениях стола станка его точность значительно ухудшилась. Необходимость повышения точности возникла, когда обрабатываемый профиль перестал соответствовать требованиям допуска формы. Подобный существенный износ может возникнуть по нескольким причинам: отсутствие смазки между трущимися поверхностями шариков и канавки вала ШВП, попадание абразивных частиц в процессе обработки деталей внутрь ШВП и чрезмерные нагрузки на стол станка. Все эти факторы привели к потере точности позиционирования стола по оси X, что делает невозможным получение точных профилей шлифовального круга и обработку высокоточных деталей. Для поддержания работоспособности и достижения требуемой точности станка с ЧПУ важен выбор наиболее рационального метода поиска неисправностей. Поскольку основным фактором, ограничивающим функциональные характеристики оборудования, стала неравномерная глубина резания при обработке фасонных профилей в зависимости от направления подачи, то гипотезой перед проверкой было наличие существенного люфта вследствие критического износа шариковинтовой пары.

Методика исследования шлифовального станка с помощью лазерного интерферометра. Для оценки точности перемещений узлов станка в пространстве можно использовать различное измерительное оборудование, рассмотренное в работе [4]. Главными показателями качества систем диагностирования являются гарантируемые ими полнота обнаружения и глубина поиска дефектов.

Применение лазерного интерферометра для проверки точности позиционирования вдоль отдельных осей и прибора BallBar для проверки точности от-

работки круговых траекторий позволят оперативно, но при этом достаточно подробно изучить состояние приводов подачи согласно ГОСТ ИСО Р 230-1-2010 [10]. Лазерный интерферометр Laser XL80 фирмы Renishaw имеет погрешность измерения, не превышающую $\pm 0,5$ мкм. Использование данной системы производится с набором оптики для измерения линейных перемещений. Луч лазера устанавливается параллельно измеряемой оси, а подвижная оптика способна без потери сигнала перемещаться во всем диапазоне измерений.



Рис. 2. Наладка на измерение точности позиционирования вдоль вертикальной оси Y

Схема эксперимента. Поскольку вышеописанная проблема затрагивает перемещения в горизонтальной плоскости, наиболее целесообразно, в первую очередь, исследовать точность перемещения стола и шпиндельной головки вдоль осей X и Z (рис. 1). Для выявления наиболее значимых погрешностей кинематики и динамики станка запланировано и проведено измерение прибором Ballbar точности выполнения круговых перемещений. Результаты подтвердили гипотезу о наличии в ШВП горизонтальных приводов большой циклической ошибки шага и люфта. Затем была проведена проверка лазерным интерферометром всех трех осей.

С целью получения максимально полной картины при минимальных временных затратах была использована следующая методика. При измерении вдоль одной из осей первое измерение производится при перемещении на максимально возможное расстояние с шагом позиционирования, равным шагу винта. Данный прием позволяет максимально изолировать накопленную ошибку шага от циклической ошибки, заключенной внутри шага.

Затем на одном или нескольких наиболее ответственных или проблемных участках небольшой длины измеряется циклическая ошибка шага, характеризующая неравномерность преобразования

вращательного движения ходового винта в линейное перемещение стола с ходовой гайкой. Исходя из опыта измерений, можно сделать вывод о том, что деление шага винта для определения шага эксперимента стоит осуществлять на 5–9 точек. На это влияет абсолютное значение шага винта, тип внутришаговой погрешности, а также наличие времени. Описание процесса юстировки подробно описано в работе [6]. Аналогичные проверки проведены и для других линейных осей (рис. 2).

Исследование оси X проведено при следующих параметрах: диапазон измерения — 300 мм, шаг между точками остановки — 5 мм, время выдержки в точке — 4 с, тип измерения: однократный двунаправленный проход. Начальная и конечная точка измерений находится в крайнем левом положении стола, при прямом проходе стол перемещается вправо. Результаты приведены на рис. 3.

Максимальная ошибка позиционирования стола по оси X составила 256 мкм, а люфт — 235 мкм. Средние значения люфта и ошибки позиционирования на всей длине измерения составили соответственно 109,5 и 181 мкм. График нелинейный, можно выделить три участка: рабочая зона станка возле бабки изделия, зона правки круга и промежуточная зона.

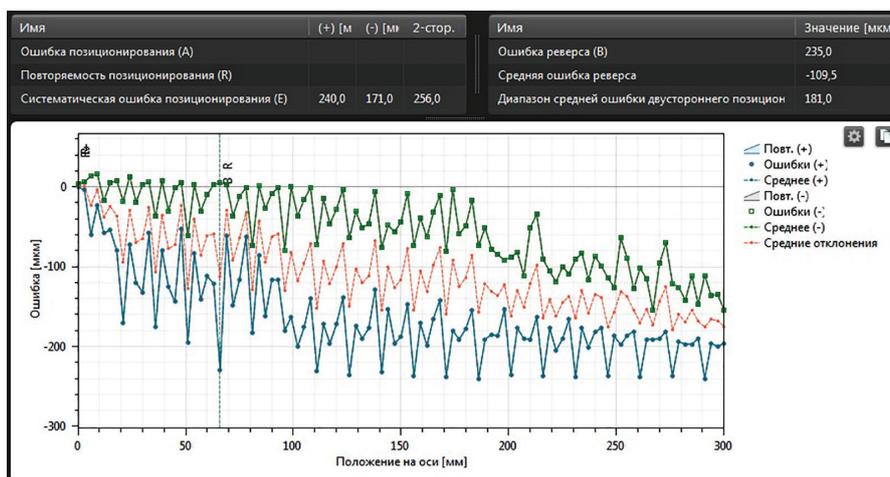


Рис. 3. График погрешности перемещений оси X на длине 300 мм с шагом 5 мм до ремонта

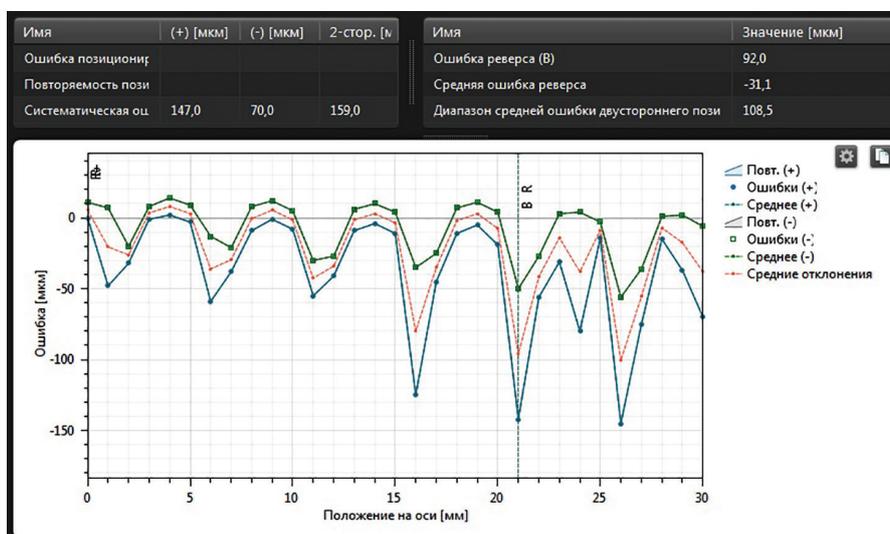


Рис. 4. График внутришаговой погрешности оси X на длине 30 мм с шагом 1 мм до ремонта

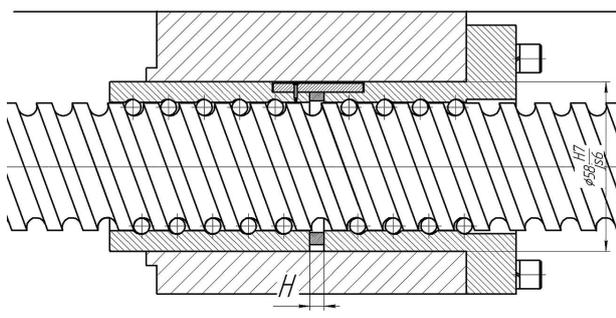


Рис. 5. Внешний вид ходовой гайки ШВП в сборе

При перемещении стола исследуемого станка вдоль оси X в формате двунаправленного прохода с длиной измерения 30 мм и шагом измерения 1 мм были получены данные о максимальных величинах реверса и ошибке позиционирования, которые составили 92 и 159 мкм соответственно (рис. 4). Данные измерения проводились на нескольких участках ШВП с целью выявления более полной картины геометрической точности. Также были определены средние значения люфтов и неточностей позиционирования на всей длине измерения, они составили соответственно 31,1 и 108,5 мкм. Эти значения характеризуют точность станка по оси X в зоне правки круга, в которой проявился максимальный износ элементов ШВП из-за ограниченных перемещений стола при получении необходимого профиля шлифовального круга.

Данные значения геометрических неточностей однозначно не позволяют считать станок высокоточным. Зазоры и связанные с ними ошибки реверса стола непосредственно влияют на точность обработки фрез и становится открытым вопрос о недопустимости обработки высокоточных фрез на данной единице оборудования в текущем состоянии. При шлифовании переднего и заднего угла из-за люфта стола будет наблюдаться подрез углов либо наоборот «недорез». Привод не будет успевать «выбирать» люфт, когда заготовка уже провернется на заданный по программе угол.

После анализа чертежей данного узла было принято решение о недостаточности программной

коррекции для восстановления точности станка и необходимости проведения внепланового ремонта путем замены сепаратора на элемент большей ширины — размер H на рис. 5, поскольку программной коррекцией такие значения погрешностей устранять неэффективно ввиду низкой стабильности и повторяемости [11]. После демонтажа двигателя с муфтой с помощью индикаторных часов был выявлен осевой люфт в опоре вала ШВП, равный 0,2 мм, что недопустимо в данном узле. Причиной появления люфта в опоре послужил износ упорного кольца в результате трения. Таким образом, увеличение ширины сепаратора было также определено как 0,2 мм.

Анализ результатов. После ремонта были проведены повторные измерения оси X согласно вышеописанной методике.

Максимальная величина люфта и ошибка позиционирования на длине 500 мм составили 5 и 29 мкм соответственно. Люфт сменился предварительным натягом в 2,8 мкм, а ошибка позиционирования 26 мкм (рис. 6). Время измерения двунаправленного прохода с паузой в точках измерения 4 секунды составило 17 минут.

При перемещении стола станка в формате одностороннего двунаправленного прохода в трех участках винта с длиной измерения 30 мм и шагом измерения 1 мм были получены данные о максимальных значениях реверса и ошибке позиционирования внутри шага ходового винта, которые составили 7 и 36 мкм соответственно. Средние значения преднатяга и ошибки позиционирования на наименее точном измерении при длине 30 мм составили соответственно 3,8 и 32,5 мкм. Результаты приведены на рис. 7. Время этих трех измерений составило 15 минут.

Данные значения графиков измерений неточностей позволяют считать, что механическая регулировка люфтов в опоре и гайке ШВП положительно сказалась на точности станка: внутришаговая погрешность уменьшилась с 160 до 32 мкм, что объясняется более полным контактом элементов качения с винтовыми поверхностями винта и гайки.

Если использовать классическую методику измерений погрешностей с помощью лазерного интерферометра, то время измерения двунаправленного прохода при длине 500 мм, шаге точек 1 мм, паузе между проходами в 4 секунды превышает 83 минуты.

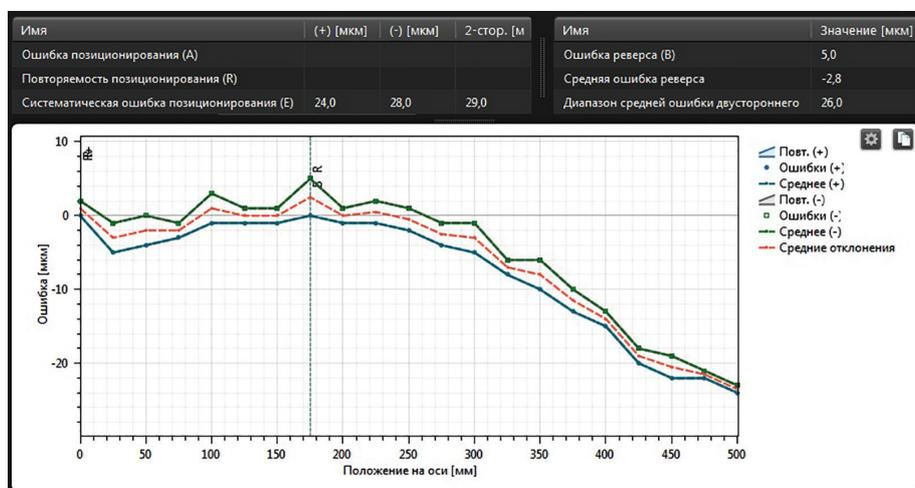


Рис. 6. График погрешности перемещений оси X на длине 500 мм с шагом 5 мм после ремонта

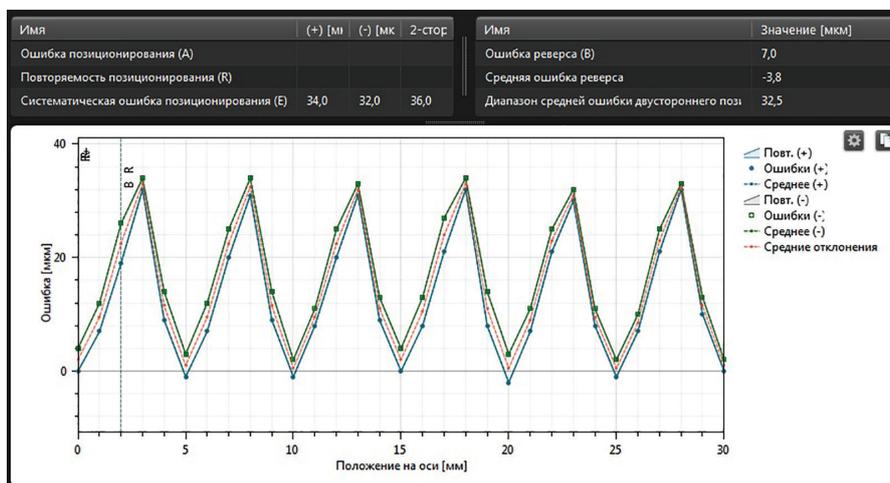


Рис. 7. График внутришаговой погрешности оси X на длине 30 мм с шагом 1 мм после ремонта

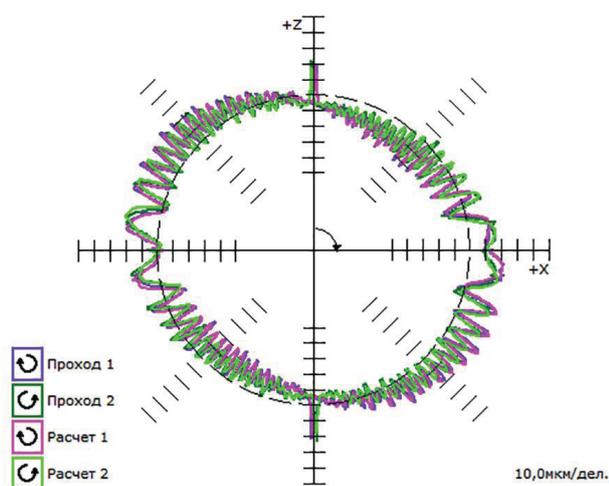


Рис. 8. Круглограмма перемещений станка в плоскости XZ после ремонта

В то же время все измерения по представленной методике занимают менее 32 минут для одной линейной оси.

Сокращение времени измерения лазерным интерферометром составляет 58 %, сокращение времени диагностики вместе с развертыванием измерительных систем для трехкоординатного станка достигает 40–50 %.

В качестве дополнительного контроля точности применялся комплекс для диагностики круговых траекторий BallBar фирмы Renishaw.

Круглограммы с результатами приведены на рис. 8. Слева отображены результаты измерения до ремонта, справа — после ремонта. Значения люфтов, полученные при измерении прямым и косвенным способом измерения, совпадают, но для определения внутришаговой погрешности одного прибора Ballbar недостаточно.

Выводы.

1. Причина потери точности позиционирования у исследуемого станка — возникновение зазоров в шариковинтовой паре вследствие длительной эксплуатации в неблагоприятных условиях — попадание масла с абразивом под кожу.

2. Коррекция люфта путем замены сепаратора с увеличением ширины на 200 мкм в ходовой гайке

дала положительный эффект уменьшения ошибки реверса на 106,7 мкм. Финальное значение ошибки реверса на всей длине перемещения не превышает 5 мкм, но, поскольку она стабильна и является предварительным натягом, её наличие можно считать положительным эффектом.

3. Для радикального повышения точности позиционирования исследованного станка необходима замена шариковинтовой пары с дальнейшей настройкой таблиц компенсаций погрешностей и люфтов.

4. Применение указанной методики проведения диагностики с помощью лазерного интерферометра позволяет получить актуальную информацию о состоянии ШВП в приводах при уменьшении временных затрат на 40–50 %.

Библиографический список

1. Базров Б. М. Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков. М.: Машиностроение, 1978. 216 с.
2. Liu H., Xue X., Tan G. Backlash error measurement and compensation on the vertical machining center // Engineering. 2010. Vol. 2. P. 403–407 DOI:10.4236/eng.2010.26053.
3. Юркевич В. В., Схиртладзе А. Г., Борискин В. П. Жизненный цикл металлорежущих станков: мониторинг состояния: моногр. Старый Оскол: ТНТ, 2014. 552 с.
4. Серков Н. А., Никуличев И. В. Методы и средства измерения первичных отклонений звеньев механизмов несущей системы многокоординатных станков с ЧПУ // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2012. № 2. С. 44–52.
5. Телешевский В. И., Соколов В. А. Программная коррекция объемных геометрических погрешностей многокоординатных машин // Динамика систем механизмов и машин. 2016. № 1. С. 389–395.
6. Majda P. The influence of geometric errors compensation of a CNC machine tool on the accuracy of movement with circular interpolation // Advances in manufacturing science and technology. 2012. Vol. 36 (2). P. 59–67. DOI: 10.2478/v10264-012-0013-4.
7. Koltsov A. G., Blokhin D. A., Khabarov A. V., Redorovich D. A. The influence of kinematic characteristics of Stewart platform for precision moving measuring mechanism // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). 2014. P. 1–6. DOI: 10.1109/Dynamics.2014.7005669.
8. Васильев Е. В., Назаров П. В., Кольцов А. Г., Блохин Д. А. [и др.]. Калибровка осей экспериментального шлифовально-го станка с ЧПУ для контурной обработки пластин по зад-

ней поверхности с помощью лазерного интерферометра // Омский научный вестник. 2017. № 6 (156). С. 23–28.

9. Блохин Д. А., Кольцов А. Г., Серков А. С. Методика регулировки величины люфта оси токарного обрабатывающего центра с ЧПУ с помощью лазерного интерферометра на основе экспериментальных исследований // Омский научный вестник. 2017. № 3 (153). 34–39.

10. ГОСТ Р ИСО 230–1–2010. Испытания станков. Ч. 1. Методы измерения геометрических параметров. Введ. 2011–01–01. М.: Стандартиформ, 2011. 90 с.

11. Chena C.-J., Jyweb W., Liuc Y.-C. [et al.]. The development of using the digital projection method to measure the contact angle of ball screw // Physics Procedia. 2011. Vol. 19. P. 36–42.

БЛОХИН Дмитрий Андреевич, ассистент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты», аспирант кафедры «Металлорежущие станки и инструменты».

SPIN-код: 5142-6237

AuthorID (РИНЦ): 869045

AuthorID (SCOPUS): 56503655400

ORCID: 0000-0001-6197-435X

КОЛЬЦОВ Александр Германович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Эксплуатация технологических комплексов».

SPIN-код: 6390-9199

AuthorID (РИНЦ): 348445

AuthorID (SCOPUS): 5496337430

ORCID: 0000-0001-7535-8419

ТОТИК Максим Александрович, магистрант гр. КТОМ-182 факультета элитного образования и магистратуры.

ДРОБОТУН Александр Геннадьевич, магистрант гр. КТОМ-182 факультета элитного образования и магистратуры.

Адрес для переписки: blohin.da@mail.ru

Для цитирования

Блохин Д. А., Кольцов А. Г., Тотик М. А., Дроботун А. Г. Методика оценки и повышения точности шлифовального центра с числовым программным управлением // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 19–24. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-19-24.

Статья поступила в редакцию 30.10.2018

© Д. А. Блохин, А. Г. Кольцов, М. А. Тотик, А. Г. Дроботун