

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2019-4-12-151-161

¹Тимофеев С.П., ²Лесунов М.Е., ³Хуртасенко А.В., ^{3,*}Маслова И.В.¹ООО «Промагро», Россия, 309295, Белгородская область, Шебекино, Ржевское шоссе, 370²ИП Лесунов Максим Егорович, Россия, Белгородская область, Красненский район, с. Готовье³Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д.46

*E-mail: iren_mas@list.ru

МЕТОДИКА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Аннотация. Для определения погрешности формы поверхностей катания крупногабаритных деталей вращающихся технологических агрегатов, таких как бандаж и ролики обжиговых печей, используются различные методики и устройства. Это необходимо для правильного назначения параметров дальнейшей восстановительной обработки встраиваемыми станочными модулями. Приобретаемые погрешности возникают в результате технологической работы агрегатов связаны не только с большими габаритами и массами самих деталей, но и с непостоянством положения оси вращающейся детали, установленной на два опорных ролика, из-за имеющейся начальной и прогрессирующей погрешностью формы в поперечном сечении. Актуальной задачей является определение видов и погрешности формы поверхностей катания, анализ, прогнозирование и расчет величины отклонения от круглости в поперечном сечении бандаж и вычисление отклонений от цилиндричности. Наиболее важными становятся вопросы моделирования процесса работы и диагностики агрегата, разработки методик определения возникающих погрешностей, их видов, вычисление реальных величин отклонений от исходного контура на основе реконструирования контура сечения с использованием возможностей современных САД-систем и средств программирования. Получение массивов данных в процессе измерений и их обработка с помощью специального программного модуля, который выполняет интерактивный перерасчет погрешностей формы при задаваемых различных входных параметрах поперечного сечения бандаж, обеспечивает возможность получения информации о состоянии наружных поверхностей катания деталей опор на работающем агрегате. В данной работе приведена методика определения геометрических параметров формы в поперечном сечении детали вращения, алгоритмы и программное обеспечение, для реконструирования контуров поперечных сечений детали и расчета погрешности формы наружных цилиндрических поверхностей.

Ключевые слова: крупногабаритные детали вращения, погрешность, точность формы, отклонение от круглости, бандаж, цифровая реконструкция, поперечное сечение, профиль, цилиндричность.

Введение. Восстановительная обработка поверхностей деталей, входящих в состав опор технологических барабанов [1, 2, 3] предполагает применения специального оборудования [4, 5, 6, 7, 8]. Для обеспечения требований качества обработанных поверхностей, предполагающих дальнейшую эксплуатацию этих деталей необходимо правильно назначать параметры восстановительной обработки. Это возможно на основе периодических измерений параметров формы и определения действительных погрешностей в продольном и поперечных сечениях [9].

Основными геометрическими параметрами точности формы, подлежащими определению в ходе ремонтно-восстановительных работ при диагностике поверхности катания бандажей технологических барабанов, являются

отклонение от круглости поперечных сечений и отклонение от цилиндричности [10].

Погрешность формы при этом будет характеризоваться максимальным отклонением от круглости. Отклонение от круглости — геометрическая величина, численно равная наибольшему расстоянию от точек реального профиля до прилегающей окружности [11].

Использование различных методик измерения формы наружной поверхности крупногабаритных деталей дает возможность определения численных значений величин отклонений от круглости и цилиндричности с целью проведения восстановительной обработки поверхностей катания технологических агрегатов [12, 13, 14].

Методика. В результате восстановления формы профиля бандаж в поперечном сечении

путем получения математического описания контура наружной поверхности, а также, вычисления таких параметров поперечного сечения как центр и радиус окружности, вписанной в контур поперечного сечения можно определить величину погрешности формы.

Ниже приведена методика определения величины погрешности формы, выражающаяся в виде отклонения от круглости поперечного сечения, относительно вписанной окружности, и состоящая из следующих этапов:

- Цифровая реконструкция контура поперечного сечения поверхности катания бандажей технологических барабанов [12, 13, 14];
- Определение параметров вписанной окружности в контур сечения;
- Расчет величины погрешности формы.

Для поверхности катания бандажей технологических барабанов применение расчета параметров формы вписанных фигур, в отличие от установленных по ГОСТ 24642-81 прилегающей окружности и цилиндра, обосновано следующим:

- параметры вписанной окружности и цилиндра однозначно характеризуют максимальный диаметр идеальной геометрии объекта, который возможно достичь после механической обработки;

- для определения вписанной окружности существуют методики и математические аппараты [9];

- замена прилегающей фигуры, на вписанную не повлияет на точность определения действительной величины отклонения. В таком случае величина отклонения от круглости $\Delta_{кр}^k$ определяется, как наибольшее расстояние Δ от точек реального контура поверхности до вписанной окружности. Величины радиального биения по сечениям $\Delta_{рб}^k$ и отклонение от цилиндричности $\Delta_{ц}$ определяется, как наибольшее расстояние Δ от точек реальной поверхности до вписанного цилиндра;

- применение вписанных фигур позволяет частично компенсировать возможные случайные ошибки при измерении, а также накапливаемую погрешность измерений [14].

Расчетная схема для определения максимальной погрешности формы в поперечном сечении бандажа представлена на рис. 1.

Для расчетов исходными данными являются:

- массив координат точек определяющих реконструированный контур $P_i^{BCS_k}$;

- координаты центра вписанной окружности максимального радиуса $P_{c_0}^{BCS_k}$;
- радиус вписанной окружности $R_{c_0}^k$.

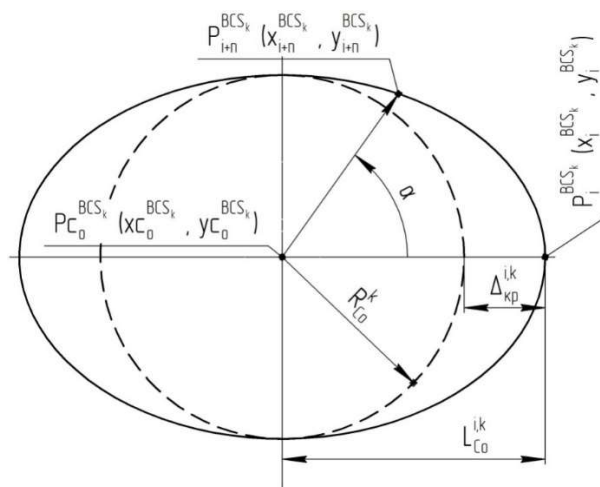


Рис. 1. Схема для определения отклонения от круглости контура реконструированного сечения

Алгоритм расчета погрешности формы:

Шаг 1. Для каждой точки реконструированного контура $P_i^{BCS_k}$ рассчитывается расстояние $L_{c_0}^{i,k}$ от центра вписанной окружности, по формуле:

$$L_{c_0}^{i,k} = \sqrt{(x_{c_0}^{BCS_k} - x_i^{BCS_k})^2 + (y_{c_0}^{BCS_k} - y_i^{BCS_k})^2} \quad (1)$$

где $x_{c_0}^{BCS_k}$ и $y_{c_0}^{BCS_k}$ – координаты точки $P_{c_0}^{BCS_k}$ центра вписанной окружности в BCS_k ; $x_i^{BCS_k}$, $y_i^{BCS_k}$ – координаты точек контура k -го сечения поверхности в BCS_k .

Шаг 2. Рассчитывается отклонение $\Delta_{кр}^{i,k}$ для каждой точки контура:

$$\Delta_{кр}^{i,k} = L_{c_0}^{i,k} - R_{c_0}^k \quad (2)$$

Шаг 3. Определяется максимальное значение $\Delta_{кр}^{i,k}$, которое и будет являться отклонением от круглости, относительно вписанной окружности:

$$\Delta_{кр}^k = \Delta_{кр}^{i,k} \max \quad (3)$$

Основная часть. Для реализации алгоритма расчета погрешности формы с использованием языка программирования, необходимо представить его структурно. При этом программу необходимо обеспечить входными данными, организовать процесс расчета и обеспечить сохранение и наглядность полученных результатов по рассчитанным значениям. Блок-схема расчета отклонения от круглости сечения поверхности представлена на рис. 2.

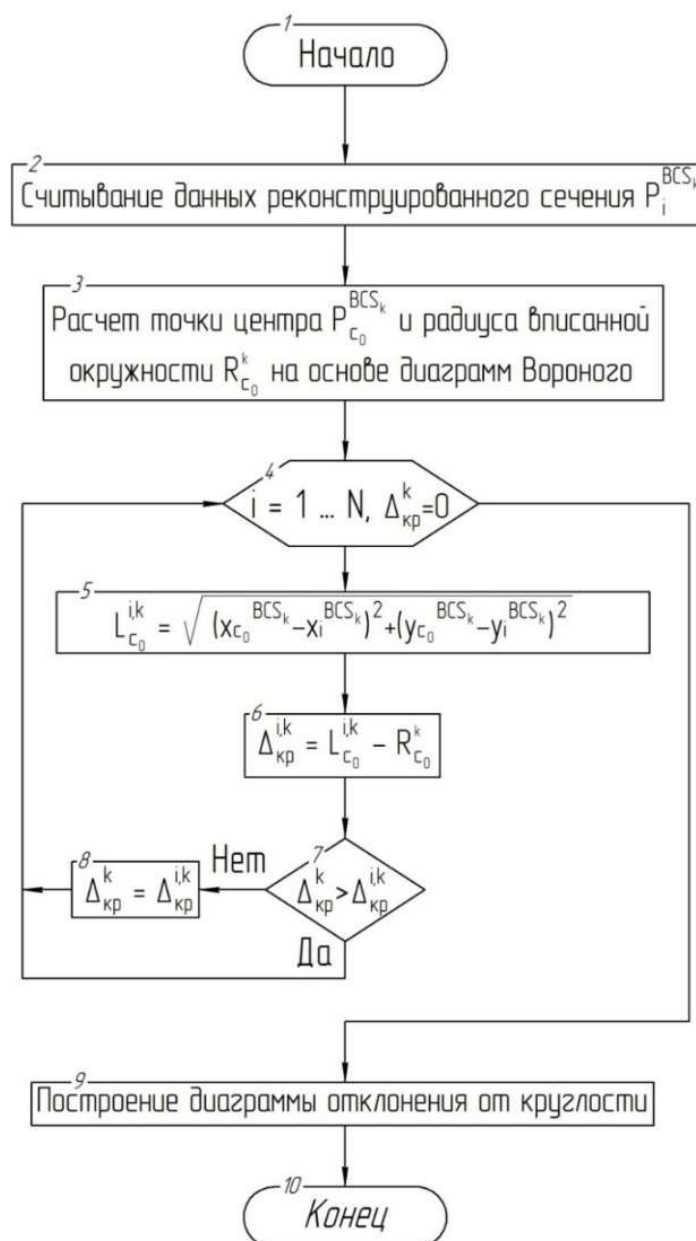


Рис. 2. Блок-схема расчета величины отклонения от круглости контура сечения поверхности (N – количество точек реконструированного контура сечения)

В результате выполнения вычислений формируется массив величинам $\Delta_{кр}^{i,k}$, по которым возможно построение круглограммы отклонений восстановленного контура бандажа (рис. 3). Каждая вписанная окружность, центр которой лежит на оси цилиндра, соответствует образующей, лежащей на поверхности вписанного цилиндра. Приведенная на рисунке 3 круглограмма описывает изменение величины $\Delta_{кр}^{i,k}$ для k -го сечения. Круглограмма будет отражать изменение величины $\Delta_{рб}^{i,k}$ радиального биения контура сечения данной поверхности.

Помимо расчета отклонений от круглости предложен расчет отклонения от цилиндричности поверхности катания бандажа, при условии

наличия данных о ряде реконструированных сечений в единой системе координат. Методика определения величины погрешности формы выраженной в виде отклонения от цилиндричности схожа с приведенной выше, и дополняется этапом проецирования на единую плоскость одного из сечений, всех реконструированных контуров. Соответственно найденная на основе диаграмм Вороного вписанная окружность соответствует сечению вписанного цилиндра. Ось реконструированной поверхности совпадает с осью вписанного цилиндра, следовательно каждое поперечное сечение двух поверхностей дает возможность получения величины радиального биения $\Delta_k^{рб}$. Блок-схема расчета отклонения от цилиндричности и величин радиального биения сечений поверхности представляется блок-схемой (рис. 4).

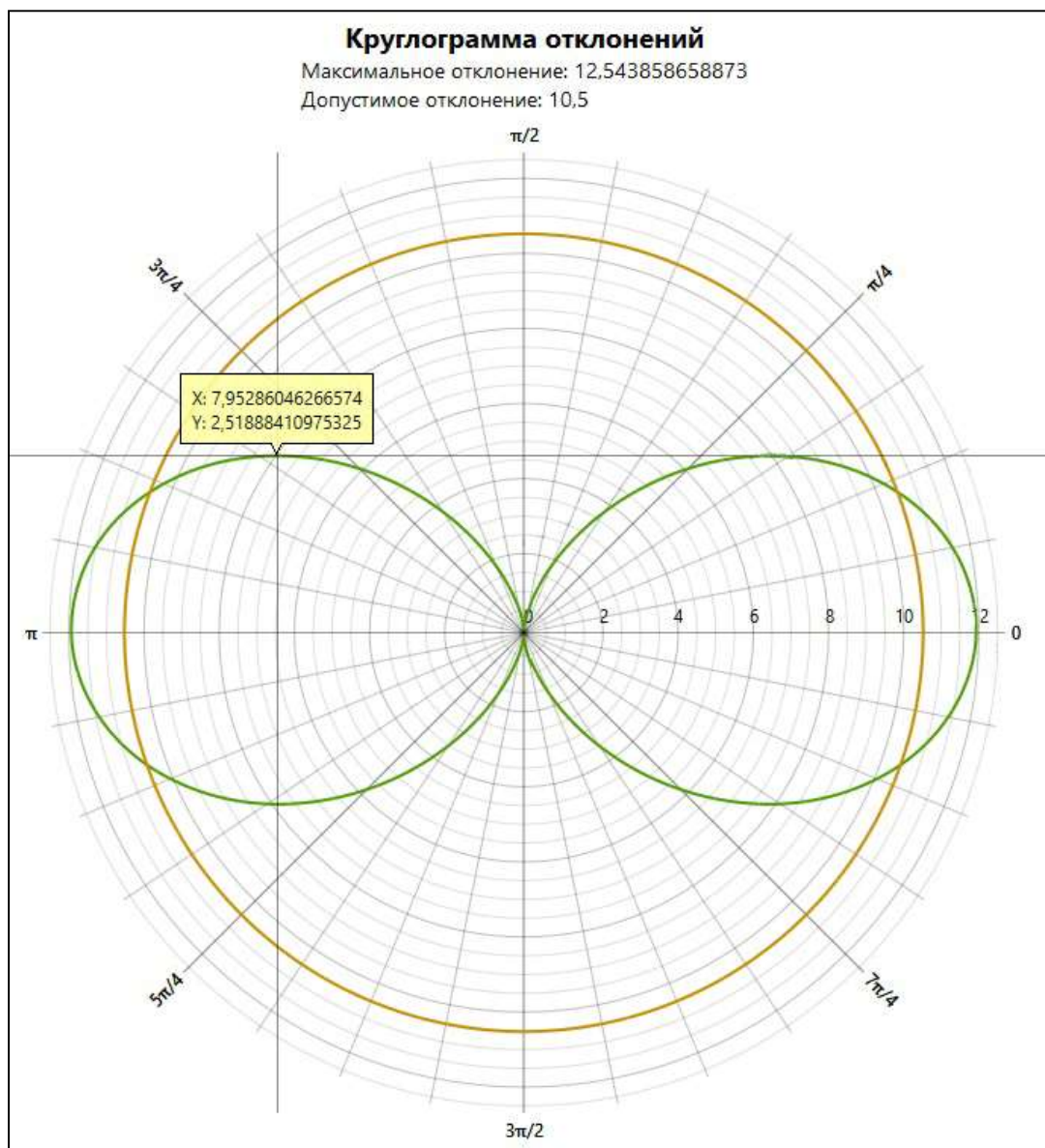


Рис. 3. Круглограмма отклонения от круглости контура реконструированного сечения

В программном обеспечении информационно-измерительной системы реализованы 2 шага измерений, согласно методике, представленной в [10]. Результатом работы модуля является массив точек измеряемой поверхности в единой системе координат, который можно использовать для дальнейших расчетов в информационно-измерительной системе, либо произвести выгрузку в табличном формате с помощью модуля импорта/экспорта данных для расчетов в других программных комплексах.

Модуль реконструкции поверхности производит реконструкцию формы поверхности измеряемого объекта с помощью интерполяции точек поверхности полученных в результате работы измерительного модуля системы или в результате импорта данных.

В модуле расчета параметров, вписанных окружности и/или цилиндра определяются геометрические параметры формы вписанной

окружности или цилиндра. Расчет производится на основе массива точек, полученных в результате работы модуля реконструкции поверхности. Выходные параметры модуля – радиус и координаты центра наибольшей окружности, вписанной в измеряемый контур.

Модуль расчета отклонений позволяет определить погрешность формы крупногабаритной детали.

Модуль генерации отчетов позволяет просматривать результаты работы информационно-измерительной системы в удобном виде. Выходные данные модуля генерации отчетов – HTML файл, в котором приведены основные параметры точности формы измеряемого объекта, в том числе графический материал и круглограммы отклонений.

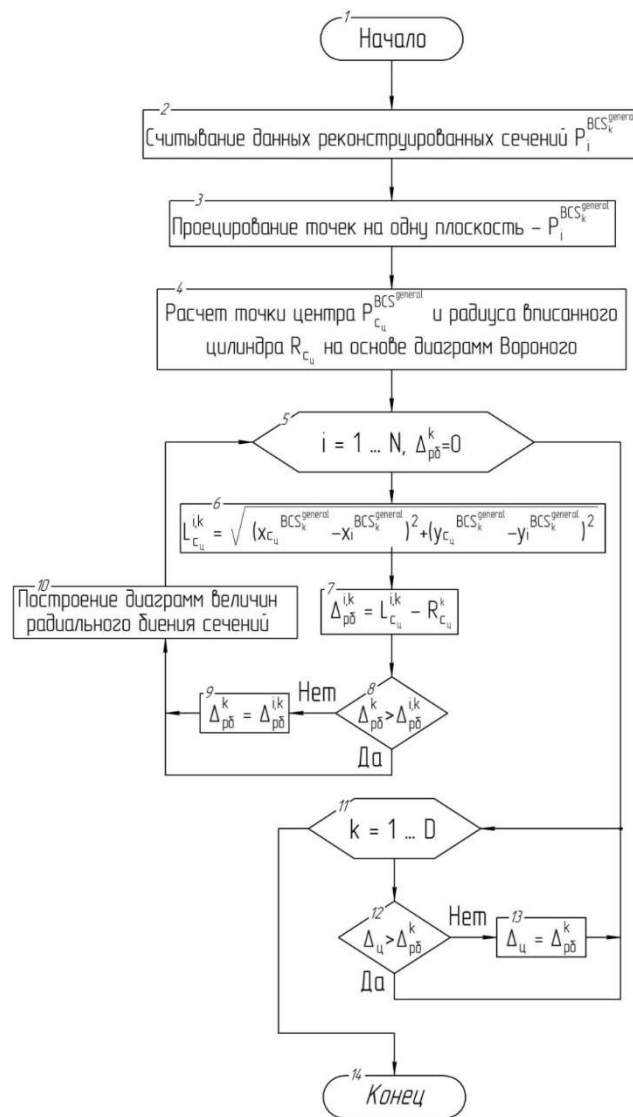


Рис. 4. Блок-схема расчета величины отклонения от цилиндричности поверхности и радиального биения её сечений (N – количество точек реконструированного контура сечения)

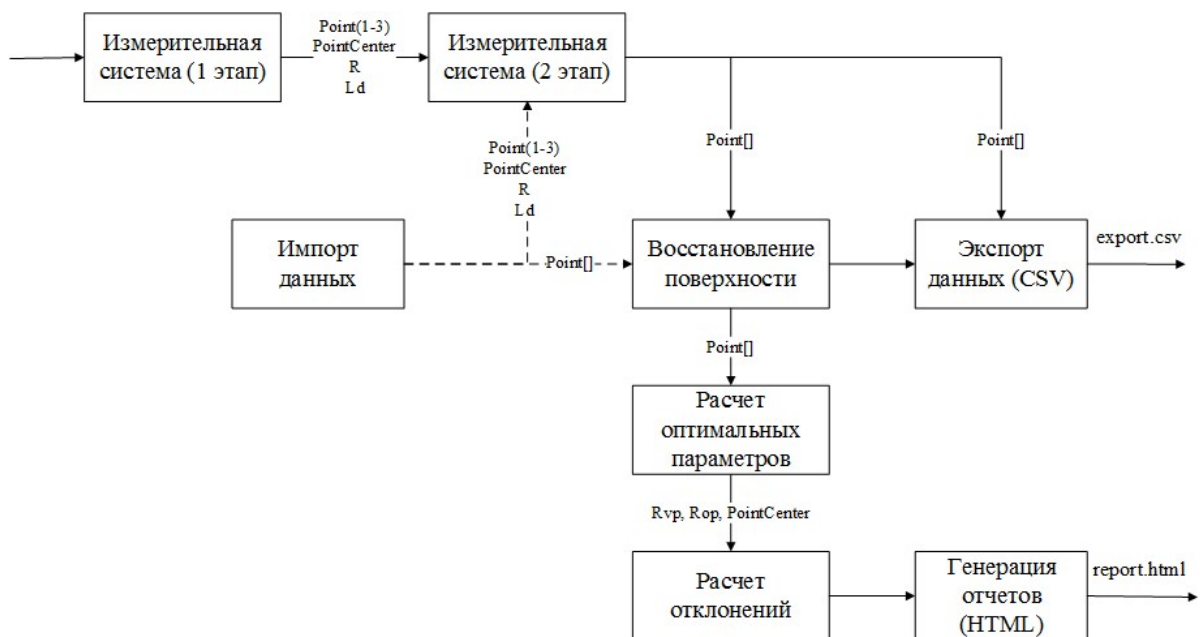


Рис. 6. Структурная схема программного обеспечения информационно-измерительной системы

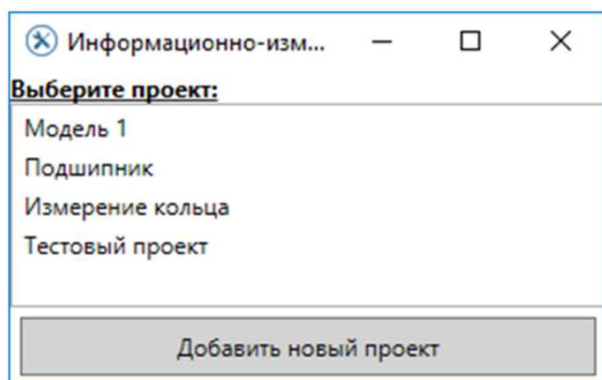


Рис. 7. Окно MainWindow

Общий интерфейс программы организован, как многооконная система, со встроенными управляющими элементами для удобства исполь-

зования. Окно MainWindow, внешний вид которого приведен на рис. 7, позволяет пользователю выбрать ранее созданный проект измерений или перейти к созданию нового.

Окно AddProject (рис.8), позволяет пользователю ввести параметры объекта, параметры измерительного устройства и точность расчетов, произвести тестирование подключения датчиков, их калибровку, а затем добавить новый проект в систему. Под параметрами объекта понимаются геометрические размеры объекта (Номинальный радиус) и размеры опор, на которых он установлен (Величина вылета первой опоры, Величина вылета третьей опоры, Межосевое расстояние щупов и т.д.). Для вычисления погрешностей необходимо задать порядок сплайна интерполяции, а также ввести необходимое число точек интерполяции.

Объект и устройство

- Информация об объекте
 - Название:
 - Описание:
 - Ответственный:
 - Контактная информация:
 - Номинальный радиус:
 - Допустимая погрешности:
- Параметры расчета
 - Порядок сплайна интерполяции:
 - Количество точек интерполяции:
- Параметры опор
 - Величина вылета первой опоры (r1), мм:
 - Величина вылета третьей опоры (r3), мм:
 - Межосевое расстояние щупов на втор:
 - r2датчика изм, мм:
 - r2датчика КИМ, мм:
- Параметры угловых преобразователей
 - Передаточное число колеса энкодера (:
 - a1, мм:
 - a3, мм:
 - a2датчика изм, мм:
 - a2датчика КИМ, мм:
- Параметры устройства
 - L, мм:
 - H, мм:
 - Xb, мм:
 - deltaX, мм:
 - xВ, мм:
 - yВ, мм:
 - Point3X, мм:
 - Point3Y, мм:

Параметры датчиков

- Параметры PCI платы СКБИС
 - Номер PCI-платы СКБИС в системе:
 - Идентификатор ресурса PCI-платы СКБ:
- Параметры датчика линейных перемещений
 - Номер канала PCI-платы СКБИС:
 - Разрядность:
 - Частота опроса:
 - Пауза опроса:
- Калибровка датчика линейных перемещений
- Тест датчика линейных перемещений
- Параметры абсолютного энкодера
 - Номер канала PCI-платы СКБИС:
 - Разрядность:
 - Частота опроса:
 - Пауза опроса:
- Калибровка абсолютного энкодера
- Тест абсолютного энкодера
- Параметры инкрементального энкодера
 - Порт Arduino:
 - Скорость порта:
 - Разрешающая способность:
- Тест абсолютного энкодера

Сохранить настройки проекта

Рис. 8. Окно AddProject



Рис. 9. Окно параметров проекта SettingsView

Для просмотра параметров проекта используется окно SettingsView (рис. 9), в котором пользователь выбирает вариант процесса и, либо сохраняет проект, либо удаляет проект.

Заданное количество точек, их координаты для вновь созданного проекта для измерений можно увидеть в окне ProjectView (рис. 10), которое также позволяет просмотреть информацию о проекте, отображает все основные этапы измерений, позволяет пользователю осуществлять загрузку/выгрузку точек в формате CSV. Табличное представление значений дает возможность наглядно оценить массив координат точек, координаты центра вписанной окружности и значения радиуса окружности.

Результаты измерений и расчетов

Расчитанные параметры

Радиус вписанной окружности: 256.46602508448831

Радиус описанной окружности: 257.49628342923711

Центр найденных окружностей: 32,5778608530706; 254,456784204259

Максимальное отклонение: 1.0302583447488019

Результаты измерений 1 этапа

Результаты измерений 2 этапа

Точка 1	Точка 2	Точка 3	Центр	R
0; 0				258.2647516
32,9465390900855; -2,110178761	65,89436204; 0	98,302346739265; 6,2972795379	32,9526214186135; 256,0696277	258.1798066
65,8928601449954; -0,00019320	98,302346739265; 6,2972795379	129,640360349666; 16,68282709	33,0035779347387; 255,8073837	257.913205
98,3005619163129; 6,296812442	129,640360349666; 16,68282709	159,392682520211; 30,99134116	33,106476727612; 255,49688662	257.5867731
129,638465865776; 16,68206131	159,392682520211; 30,99134116	187,06738135125; 48,992843023	33,2635711603254; 255,1702299	257.2250511
159,390843900359; 30,99030671	187,06738135125; 48,992843023	212,204592801181; 70,39557128	33,4672103078967; 254,8571614	256.8523509
187,065738231948; 48,99161706	212,204592801181; 70,39557128	234,384444056993; 94,85017163	33,7086161637074; 254,5736313	256.4807429
212,203263028404; 70,39428254	234,384444056993; 94,85017163	253,234807489808; 121,9547257	33,9570576522433; 254,3482980	256.1460317
234,38349280362; 94,848976289	253,234807489808; 121,9547257	268,438206838525; 151,2612391	34,1925038525948; 254,1845515	255.8598398

Сохранить в файл

Точки интерполяции

Точка 1
-5,73740954745716E-11; -4,72419984243189E-10
0,300258779053492; -0,0359765557052858
0,601246486706356; -0,0716903450384756
0,902967672460775; -0,107141869718347
1,20542646974197; -0,142331549568476
1,50862659426918; -0,177259722854443
1,8125713427904; -0,211926646207267
2,11726359212395; -0,246332494605451
2,42270579850663; -0,280477361415581

Сохранить в файл

Рис. 10. Окно ProjectView в режиме загрузки точек, описывающих контур

Окно NewMeteringView позволяет контролировать процесс измерения объекта, т.е. на каждой итерации наглядно видеть координаты точек, образующих контур. Внешний вид окна приведен на рис. 11.

Массивы значений координат точек хранятся в таблицах и могут быть экспортированы в файлы различных форматов для дальнейшего их

использования. Тем не менее, по рассчитанным данным модуль графических построений предоставляет возможность выполнить построение графиков и вывести их на экран компьютера. Для этого пользователю необходимо перейти в окно GraphView (рис. 12) и просмотреть реконструированный контур.

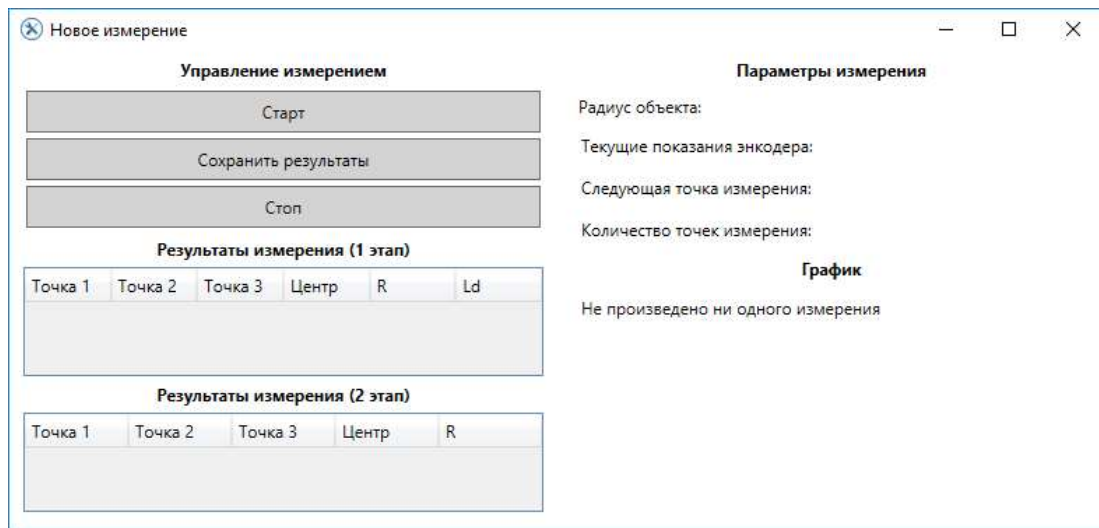


Рис. 11. Окно NewMeteringView

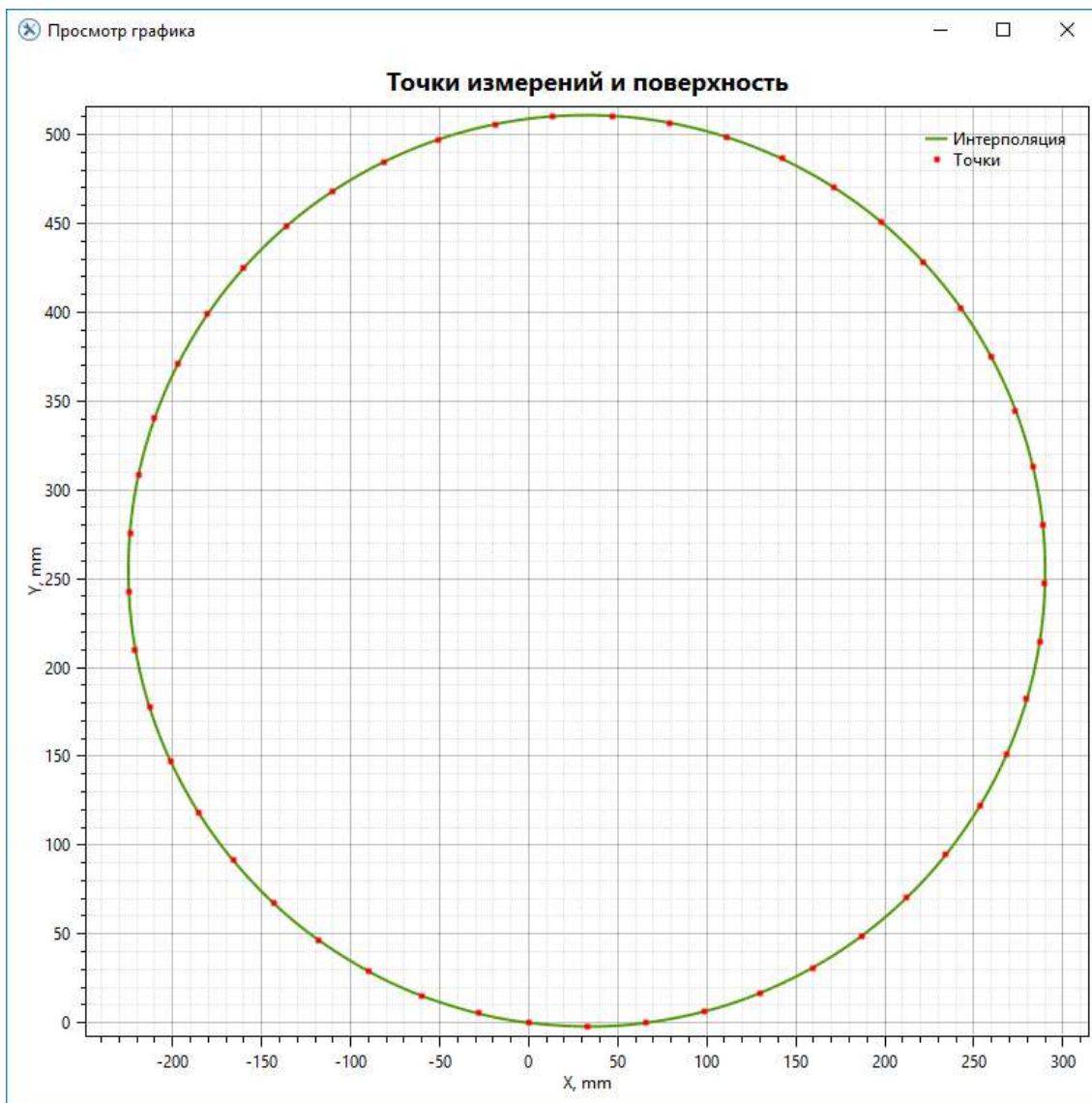


Рис. 12. Окно GraphView

Выводы. Разработана методика и программное обеспечение для расчета величины погрешности геометрической точности формы поверхности катания бандажей технологических барабанов на основе диаграмм Вороного. Разработанное программное обеспечение позволяет в сочетании с предложенными методами измерения геометрических параметров точности формы производить диагностику и анализ точности формы как крупногабаритных деталей технологических барабанов, так и прочих монотонных цилиндрических поверхностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mogilny S., Sholomitskii A. Precision Analysis of Geometric Parameters for Rotating Machines during Cold Alignment. *Procedia Engineering*. 2017 Vol. 206, Pp. 1709–1715.
2. Boateng A.A. Rotary Kilns. Elsevier Inc. Publ., 2015. 390 p.
3. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Г.М., Маркова О.В. Способ установки обжиговой печи или сушильных барабанов на ось вращения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 110–112.
4. Универсальный встраиваемый станок УВС-01 / Федеральный каталог высокотехнологичного оборудования и объектов научного потенциала России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://каталог-нп.рф/project/281>.
5. Пат. № 125499, Российская Федерация, МПК В23В 5/00 (2006.01). Станок для обработки бандажей / Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В., Рыбалко В.Ю.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2012121121/02, заявл. 22.05.2012; опубл. 10.03.2013, Бюл. № 7.
6. Пат. № 58420, Российская Федерация, МПК В23Q1/76 (2006.01). Следящий суппорт / Санин С.Н., Бондаренко В.Н., Погонин А.А.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2006120063/22, заявл. 07.06.2006; опубл. 27.11.2006, Бюл. № 33.
7. Пат. № 118235, Российская Федерация, МПК В23В 5/00 (2006.01). Станок для обработки бандажей и роликов /., Мурыгина Л.В., Рыбалко В.Ю., Черняев А.С.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2011151348/02, заявл. 15.12.2011; опубл. 20.07.2012, Бюл. № 20.
8. Санин С.Н., Оникиенко Д.А. Разработка концепции мобильного стенда для механической обработки бандажей вращающихся печей с базированием по торцовой поверхности и отверстию // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 104–109.
9. Маслова И.В., Четвериков Б.С. Определение искажений формы крупногабаритных деталей по анализу проекции правильной геометрической фигуры на криволинейную поверхность // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №6. С. 135–140.
10. Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В., Тимофеев С.П. Методика определения формы наружной поверхности качения опор технологических // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2015. № 3. С. 85–89.
11. Vijayan S.N., Sendhilkumar S. Industrial Applications of Rotary Kiln in Various Sectors - A Review. *International Journal of Engineering Innovation & Research*, 2014, vol 3, pp. 342-345.
12. Пат. № 161400, Российская Федерация, МПК G01B 5/20 (2006.01). Измерительное устройство для определения формы поверхностей крупногабаритных деталей - тел вращения / Хуртасенко А.В., Тимофеев С.П., Шрубченко И.В., Воронкова М.Н., Гринек А.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова № 2015152710/28. заявл. 08.12.2015; опубл. 20.04.2016 Бюл. № 11.
13. Пат. № 179248, Российская Федерация, МПК G01B 5/00 (2006.01). Измерительное устройство для определения геометрических параметров формы поверхностей крупногабаритных деталей / Тимофеев С.П., Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В., Воронкова М.Н.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова № 2017133931. заявл. 28.09.2017; опубл. 07.05.2018 Бюл. № 13.
14. Тимофеев С.П., Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В. Методика измерения формы наружной поверхности крупногабаритных деталей – тел вращения опор технологических барабанов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20. № 9. С. 35–45. DOI: 10.21285/1814-3520-2016-9-35-45.

Информация об авторах

Тимофеев Сергей Петрович, Инженер-конструктор. E-mail: Timofeevsp@inbox.ru. ООО "Промагро". Россия, 309295, Белгородская область, г. Шебекино, Ржевское шоссе, 370 А.

Лесунов Максим Егорович, разработчик компьютерного программного обеспечения. E-mail: maxlesunow@gmail.com. ИП Лесунов Максим Егорович. Белгородская область, Красненский район, село Готовье, ул. Молодежная, дом 20.

Хуртасенко Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Маслова Ирина Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: iren_mas@list.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2019 г.

© Тимофеев С.П., Лесунов М.Е., Хуртасенко А.В., Маслова И.В., 2019

¹*Timofeev S.P.*, ²*Lesunov M.E.*, ³*Khurtasenko A.V.*, ^{3,*}*Maslova I.V.*

¹*LLC Promagro, Russia, 309295, Belgorod region, Shebekino, Rzhnevskoe shosse, 370*

²*IE Lesunov Maxim Egorovich. Russia, Belgorod region, Krasnensky district, village Gotovye*

³*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova*

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

**E-mail: iren_mas@list.ru*

THE METHODOLOGY AND SOFTWARE FOR CALCULATING THE ERROR OF CYLINDRICAL SURFACES

Abstract. Various techniques and devices are used to determine the shape errors of large-sized parts of technological units. This is important for the correct assignment of parameters for further reduction processing by special machines and machine tools. The acquired errors arise for several reasons: 1) large dimensions and weight of rotating parts, 2) the instability of the axis of the rotating part mounted on two support rollers, 3) the available initial and acquired shape error in the cross section of the part. It is important to define the types of form errors of the surfaces, error analysis, prediction and calculation of deviations from roundness in the cross section of the bandage, and the evaluation of cylindricity. Modeling of the process of operation and diagnostics of the unit, development of methods for determining errors, calculation of real values of deviations from the original contour on the basis of reconstruction of the contour of the section becomes important and necessary. These processes are performed using modern CAD systems and software. Obtaining data arrays in the process of measurements and their processing with the help of a special software module that performs an interactive calculation of shape errors with different geometric parameters of the cross-section of the bandage, provides the ability to obtain information about the state of the outer surfaces and parts of the supports on the operating unit. This article presents a method for determining the geometric parameters of the shape in the cross section of the rotation part, algorithms and software for reconstructing the contours of the cross sections of the part and calculating the shape error of the outer cylindrical surfaces.

Keywords: large-size rotation parts, error, shape accuracy, deviation from roundness, bandage, digital reconstruction, cross-section, profile, cylindricity.

REFERENCES

1. Mogilny S., Sholomitskii A. Precision Analysis of Geometric Parameters for Rotating Machines during Cold Alignment. Proceedings Engineering, 2017. Vol. 206. Pp. 1709–1715.

2. Boateng A.A. Rotary Kilns. Elsevier Inc. Publ., 2015. 390 p.

3. Fedorenko M.A., Bondarenko Yu.A., Sanina T.M., Markova O.V. Method of installation of a kiln or drying drums on the axis of rotation [Sposob ustanovki obzhigovoy pechi ili syshilnyh barabanov na osjvrasheniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 5. Pp. 110-112. (rus)

4. Universal embedded machine UVS-01 / Federal catalogue of high-tech equipment and objects of scientific potential of Russia. Access mode: URL: <https://katalog-np.rf/project/281>. (rus)

5. Srubchenko I.V., Murygina L.V., Rybalko Y.V. Machine for processing of tires. Patent RF, no. 2012121121, 2012. (rus)

6. Sanin S.N., Bondarenko V.N., Pogonin A.A. Witness the caliper. Patent RF, no. 2006120063, 2006. (rus)

7. Murygina L.V., Rybalko Y.V., Chernyaev A.S. The machine for processing of bandages and rollers. Patent RF, no. 2011151348, 2011. (rus)

8. Sanin S.N., Onikienko D. A. Development of the concept of a mobile stand for mechanical processing of bandages of rotating furnaces based on the end surface and the hole [Razrabotka konceptzii mobilnogo stenda dly mehanicheskoy obrabotki bandajej vrashayushihsysya pechei s bazirovaniem po torzevoi poverhnosti i otverstiyu]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 2. Pp. 104-109. (rus)

9. Maslova I.V., Chetverikov B.S. Definition of distortions of the form of large-sized details on the analysis of projection of the correct geometrical figure on a curvilinear surface [Opredelenie iskazheniy formy krupnogabaritnykh detalei po analizu proekzii pravilnoy geometricheskoi figury na krivolineynuyu poverhnost']. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2017. No. 6. Pp. 135–140. (rus)

10. Khurtasenko A.V., Shrubchenko I.V., Timofeev S. P. Method of determining the shape of the outer surface of rolling supports process [Metodika opredeleniya formy naruzhnoi poverhnosti kacheniya opor tehnologicheskikh]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2015. No. 3. Pp. 85–89. (rus)

11. Vijayan S.N., Sendhilkumar S. Industrial Applications of Rotary Kiln in Various Sectors - A Review. International Journal of engineering Innovation&Research. 2014. Vol 3. Pp. 342–345. (rus)

12. Khurtasenko A.V., Timofeev S.P., Shrubchenko I.V., Voronkova M. N., Grinek A.V. Measuring device for determining the shape of the surfaces of large-sized parts-bodies of rotation. Patent RF, no. 2015152710, 2015. (rus)

13. Timofeev S.P., Khurtasenko A.V., Shrubchenko I.V., Voronkova M.N. Measuring device for determining the geometric parameters of the surface shape of large parts. Patent RF, no. 2017133931, 2017. (rus)

14. Timofeev S.P., Khurtasenko A.V., Shrubchenko I.V. Method of measuring the shape of the outer surface of large-sized parts-bodies of rotation of supports of technological drums [Metodika izmereniya formi naruzhnoi poverhnosti krupnogabaritnykh detalei – tel vrasheniya opor tehnologicheskikh barabanov]. Bulletin of Irkutsk state technical University. 2016. Vol. 20. No. 9. Pp. 35–45. (rus)

Information about the authors

Timofeev, Sergey P. Engineer, designer. E-mail: Timofeevsp@inbox.ru. LLC "Promagro". Russia, 309295, Belgorod region, Shebekino, Rzhenskoe highway, 370 A.

Lesunov, Maxim E. Computer software developer. E-mail: maxlesunow@gmail.com. IE Lesunov Maxim Egorovich. Belgorod region, Krasnensky district, the village of Gotovie, st. Molodezhnaya, house 20.

Hurtasenko, Andrey V. PhD, Assistant professor. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Maslova, Irina V. PhD, Assistant professor. E-mail: iren_mas@list.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in Desember 2019

Для цитирования:

Тимофеев С.П., Лесунов М.Е., Хуртасенко А.В., Маслова И.В. Методика и программное обеспечение для расчета погрешности формы цилиндрических поверхностей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 12. С. 151–161. DOI: 10.34031/2071-7318-2019-4-12-151-161

For citation:

Timofeev S.P., Lesunov M.E., Khurtasenko A.V., Maslova I.V. The methodology and software for calculating the error of cylindrical surfaces. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 12. Pp. 6–161. DOI: 10.34031/2071-7318-2019-4-12-151-161