

Установлено, что в интервале  $\phi$  от 0% до 16% влагосодержания преобладает мономолекулярная адсорбция, отвечающая нормальному влагосодержанию нитроаммофоски. В интервале  $\phi$  от 16% до 54% преобладает полимолекулярная адсорбция, а при значении  $\phi$  больше 87% происходит плавный переход от преимущественно полимолекулярной адсорбции к капиллярной конденсации, что безусловно отрицательно скажется на процесс увлажнения и слеживаемости данного груза. Поэтому при перевозке нитроаммофоски в трюмах возможно существенное изменение её равновесной влажности, которое может привести к порче груза.

Таким образом для обеспечения сохранения первоначальных свойств груза необходимо, чтобы груз предъявлялся к перевозке морским транспортом в определенной кондиции по влажности, которая бы в процессе морского перехода по крайней мере не превысила бы допустимые параметры (свыше 16%) для сохранения его сыпучих свойств.

#### Литература

1. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных сред. - М.: Наука, 1964. – С.3.
2. Снопков В. И. Перевозка грузов морским транспортом. - М.: Транспорт, 1986. – С.3.
3. Ткач О. Д. Новая методика испытаний материалов на слеживаемость // Сборник научных трудов НГМА. – Новороссийск: НГМА, 1999. - вып. 4. - С. 111-112.

4. Ткач О. Д., Троеглазова Н.Л., Новикова Т.К. Кондуктометрический метод определения слеживаемости сыпучих грузов на морском транспорте // Сборник научных трудов НГМА. – Новороссийск: НГМА, 2001. - вып. 6. - С. 111 - 112.
5. Правила морской перевозки опасных грузов морским транспортом (Правила МОПОГ). – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1990.
6. Международный морской кодекс по перевозке опасных грузов (Кодекс ММОГ). – СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2007. – 512 с.

#### References

1. Rebinder P. A. Physics and Chemical Mechanics of Dispersal Environments. - M.: Science, 1964. S. 3.
2. Snopkov V.I. Shipping goods by sea. - M.: Transport, 1986. S. 3.
3. Weaver O.D. New method of testing materials for seability: Collection of scientific works of NGMA. - Novorossiysk: NGMA, 1999. № 4. - S. 111 - 112.
4. Weaver O.D., Troeglazova N.L., Novikova T.K. Conduometric method of determining the smoothness of bulk cargoes on sea transport / Collection of scientific works of NGMA. - Novorossiysk: NGMA, 2001. № 6. - S. 111 - 112.
5. Rules of maritime transport of dangerous goods by sea (MoEOG Rules). - M.: In/O MorteKhInform, 1990.
6. International Maritime Code on the Transport of Dangerous Goods (MMOG Code). - St. Petersburg: CNIIMF, 2007. 512s.

УДК 621.874

DOI: 10.34046/aumsuomt94/28

## МОБИЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ С НЕСТАЦИОНАРНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ

*А.В. Гринек, кандидат технических наук, доцент*

*А.В. Хуртасенко, кандидат технических наук, доцент*

*С.П. Тимофеев, ведущий инженер-конструктор*

Технология восстановительной обработки крупногабаритных валов для судоремонтной отрасли может быть значительно развита и обеспечена за счет имеющихся научно-технических решений в области технологии механической обработки крупногабаритных тел с нестационарной осью вращения. В работе рассмотрен вопрос разработки специального технического устройства для реализации адаптивного метода управления процессом механической обработки крупногабаритных тел вращения в условиях неопределенности базирования в процессе эксплуатации или ремонта.

Устройство для измерения погрешности формы входит в состав мобильной технологии обработки крупногабаритных изделий с неравномерным припуском и нестационарной осью вращения. Реализация технологии восстановления заданной формы путем механической обработки основана на модульном принципе, состав которого определяется технологическими и техническими задачами. В состав программно-аппаратного комплекса для мобильной восстановительной обработки входят следующие модули: модуль контроля, модуль обработки, модуль управления, блок хранения и анализа информации. Предложена структурная схема модуля обработки, реализующая алгоритм определения величины снимаемого припуска в зависимости от текущего значения рассчитанной погрешности формы.

По результатам выполнения НИОКР спроектирован и изготовлен опытный образец устройства контроля, проведен выбор и сборка электронных компонент, проведена юстировка датчиков в составе конструкции.

**Ключевые слова:** восстановительный ремонт, мобильные технологии, нестационарная ось вращения, неравномерный припуск, приставной станок, погрешность формы, адаптивное управление, процесс резания

Restorative treatment technology of bulky shafts for ship-repair industry can be more developed provided by existing scientific and technical solutions in technical areas of mechanical treatment of large-sized bodies with a non-stationary axis of rotation. The question of development of special technical devices for implementing an adaptive method for controlling the process of machining large-sized bodies of rotation in the conditions of uncertainty of basing had seen in this work. Mechanical processing can be produced in progress of exploitation or an object repairing.

The mobile technology for processing large-sized products with an uneven allowance and a non-stationary axis of rotation includes a device for measuring shaped inaccuracy. The implementation of the technology for restoring a given shape by mechanical treatment is based on the modular principle. The module structure is determinate by technological and technical tasks. Hardware and software complex for mobile recovery processing includes next modules: control module, processing module, control module, information storage and analysis unit. There is a block diagram of the processing module which was introduced. It realized the algorithm for determining the value of the allowance to be removed which depends from the current value of the calculated form error.

Based on the results of research and development there was made a prototype of the control device was designed and manufactured. Also there was conducted a selection and Assembly of electronic components and alignment of sensors in the structure.

**Key words:** restoration repair, mobile technologies, non-stationary axis of rotation, uneven allowance, portable machine, shape error, adaptive control, cutting process

## Введение

Мобильные технологии измерения, восстановления, механической обработки крупногабаритных деталей типа «вал» за последние годы находят все большее применение в смежных инженерных областях.

Технология восстановительной обработки крупногабаритных валов для судоремонтной отрасли может быть значительно развита и обеспечена за счет имеющихся научно-технических решений в области технологии механической обработки крупногабаритных тел с нестационарной осью вращения [1].

Для обеспечения наибольшей технологичности и уменьшения времени на восстановительную обработку требуется точное определение реальной геометрии поверхности изделия. С другой стороны, по имеющимся данным о НИОКР ГМУ им. Ф.Ф. Ушакова [2], сокращение сроков восстановительной обработки крупногабаритных деталей, например, валопроводов, при одновременном обеспечении заданной точности может быть достигнуто применением технологий с использованием средств и методов контроля точности в процессе механической обработки наружной поверхности детали с переменным припуском [3-7].

В данной работе представлен процесс разработки специального технического устройства для реализации адаптивного метода управления процессом механической обработки крупногабаритных тел вращения в условиях неопределенности базирования в процессе эксплуатации или

ремонта объекта. Актуальность полученных решений заключается в повышении эффективности существующих систем управления процессом механической обработки крупногабаритных объектов с нестационарной осью вращения без их демонтажа и остановки процесса эксплуатации.

Авторами предложено устройство в рамках мобильной технологии управления процессом механической обработки изделий с нестационарной осью вращения, апробированное на практике. Работа проводилась в рамках выполнения «Start-up» – проекта за счет средств финансирования «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» [8].

## Основная часть

*Разработка функциональной структуры программно-аппаратного комплекса.* Внедрение предлагаемого программно-аппаратного комплекса для выполнения предмонтажной и восстановительной обработки крупногабаритного изделия определяет существенное отличие от традиционных технологий восстановления геометрической точности формы крупногабаритных деталей, в которых процессу обработки предшествует процедура измерения их формы в осевом и радиальном сечениях. При этом в традиционных технологиях процедура замеров осуществляется периодически в ходе работы агрегата и, как правило, производится дополнительно периодическое измерение величины биения в различных сечениях до и после обработки [9-11].

Предложенная технология заключается в осуществлении адаптивного управления процессом механической обработки, когда корректирование снимаемого припуска проводится после оценки точности формы. При этом контроль может осуществляться одновременно при выполнении технологических переходов при многопроходной обработке резанием. По результатам контроля выполняется корректировка технологических параметров для обеспечения заданной точности формы поперечного сечения [12,13].

Совмещение процессов контроля и механической обработки ставит вопрос изменения технологических подходов при реализации восстановительной обработки. В связи с этим наиболее рациональным вариантом будет построение технологии с использованием модульного принципа. В этом случае реализация технологии восстановления заданной формы путем

механической обработки может быть выполнена с использованием трех модулей.

Первый модуль – обеспечение активного контроля геометрических параметров формы во время выполнения обработки и после каждого прохода инструмента [14].

Второй модуль – выполнение механической обработки путем снятия заданного припуска с восстанавливаемой поверхности детали.

Третий модуль – реализация процесса управления технологическими параметрами на основе алгоритмов нечеткой логики [15].

При этом связь трех модулей обеспечивается таким образом, чтобы информация о процессе изменении геометрии формы использовалась для корректировки параметров обработки.

Реализацию предлагаемой технологии можно представить схемой, показанной на рисунке 1.

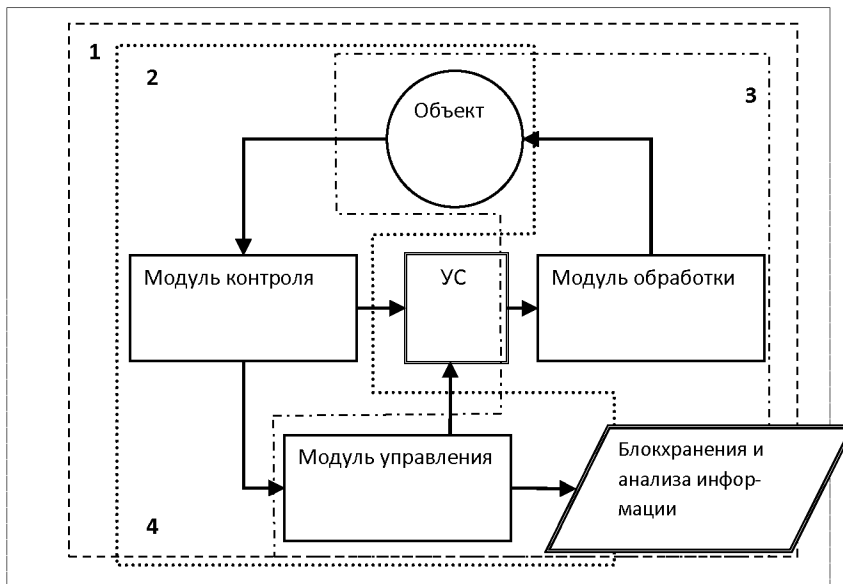


Рисунок 1 – Функциональная схема модульной технологии восстановительной обработки объекта (УС – устройство сопряжения)

В результате реализации модульного принципа построения новая технология может быть выполнена в различных вариантах (таблица 1):

*вариант 1* – восстановительная обработка с использованием контроля (модуль контроля, модуль управления и модуль обработки);

*вариант 2* – контроль параметров геометрической формы объекта с обработкой и сохранением информации в базе данных (модуль контроля и модуль управления, блок хранения, обработки и анализа информации);

*вариант 3* – плановая восстановительная обработка с использованием идентификации параметров технологического процесса

(модуль обработки, модуль управления, блок модуль хранения и анализа информации);

*вариант 4* – восстановительная обработка с использованием активного контроля, анализом информации и идентификацией технологических параметров обработки (модуль контроля, модуль обработки, модуль управления, блок хранения и обработки информации).

На рисунке 2 представлена структурная схема модуля измерения геометрических параметров формы в поперечных сечениях.

Таблица 1 – Варианты технологических решений

| Вариант | Состав   | Технологические задачи   |
|---------|--|--|
| 1       | - модуль контроля<br>- модуль обработки<br>- модуль управления   | Восстановительная обработка с использованием активного контроля  |
| 2       | - модуль контроля<br>- модуль управления<br>- блок хранения и анализа информации                       | Контроль параметров геометрической формы объекта с обработкой и сохранением информации в базе данных                                     |
| 3       | - модуль обработки<br>- модуль управления,<br>- блок хранения и анализа информации                     | Плановая восстановительная обработка с использованием идентификации параметров технологического процесса                                 |
| 4       | - модуль контроля<br>- модуль обработки<br>- модуль управления<br>- блок хранения и анализа информации | Восстановительная обработка с использованием активного контроля, анализа информации и идентификации технологических параметров обработки |

Устройство сопряжения модуля контроля может быть подключено к устройству сопряжения модуля обработки (рисунок 2), при этом реализуется первый вариант модульной технологии (таблица 1). При сопряжении модуля контроля с персональным компьютером реализуется второй вариант технологии. В случае сопряжения моду-

ля контроля с персональным компьютером или модулем хранения информации и модулем обработки может быть реализован четвертый вариант технологического решения.

Структурная схема технологического модуля обработки показана на рисунке 3.

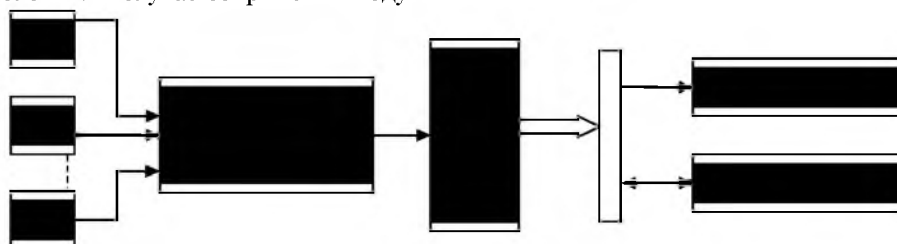


Рисунок 2 – Структурная схема модуля контроля:

Д – датчики, измеряющие координаты точек на обрабатываемой поверхности детали в заданном сечении; МП – микропроцессор; МУ – модуль управления; УС – устройство сопряжения

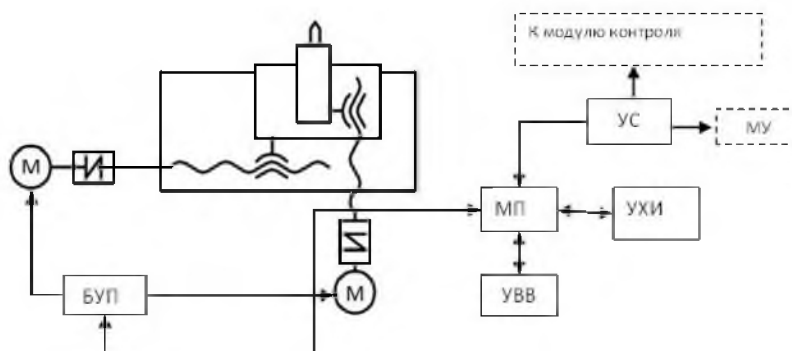


Рисунок 3 – Структурная схема модуля обработки:

БУП – блок управления суппортами продольных и поперечных подач; МП – микропроцессор; УВВ – устройство ввода-вывода информации; УХИ – устройство хранения информации; УС – устройство сопряжения; М – привод перемещений

Варианты сопряжения модуля обработки описаны выше. Кроме того, модуль может быть сопряжен со специальным устройством и персональным компьютером. В таком случае будет реализован третий вариант технологического решения.

В разработанном устройстве реализована следующая схема измерений, показанная на рисунке 4.

После завершения процесса измерения, полученные данные в виде массивов координат точек могут передаваться для анализа как в специальные программы для определения необхо-

димого припуска на обработку, так и для визуального анализа, например, в CAD-системы. Для проведения измерения формы объекта в поперечном сечении, а также для контроля параметров погрешности в процессе обработки необходимы устройства, обеспечивающие контроль с целью определения параметров настройки обрабатывающего оборудования и анализа протека-

ния процесса восстановительной обработки в соответствии с разработанными методиками.

Для реализации предлагаемого метода и способа измерения геометрической формы может быть использовано измерительное устройство [16], схема которого представлена на рисунке 5



Рисунок 4 – Схема процесса определения геометрических параметров крупногабаритной детали с нестационарной осью вращения

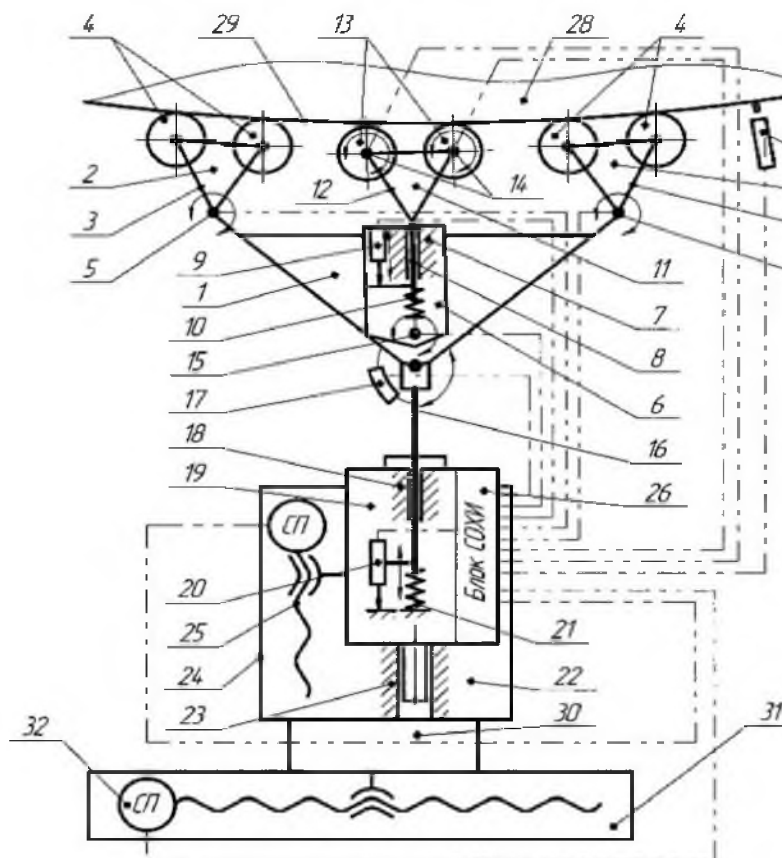
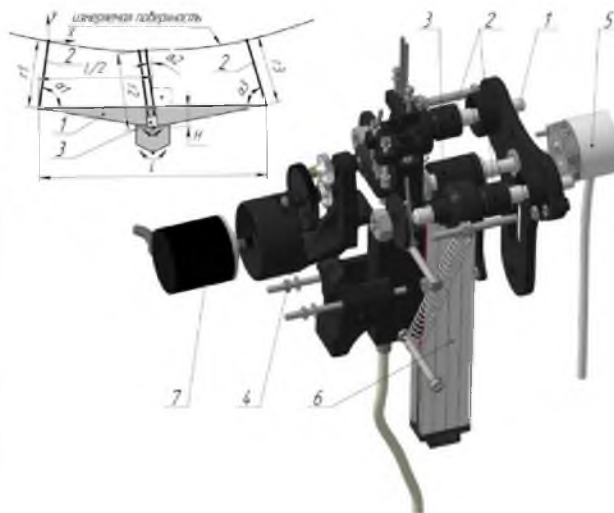
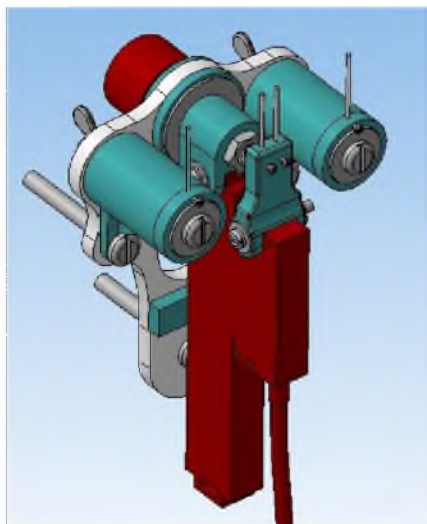


Рисунок 5 – Устройство для измерения параметров формы изделия:

1 – корпус; 2 – базовые опоры; 3 – основание; 4 – ролик; 5, 14, 15, 17 – датчики угловых перемещений; 6 – качалка; 7, 18, 23 – направляющие; 8 – шток; 9 – датчик линейных перемещений; 10, 21 – пружина сжатия; 11 – измерительная опора, 12 – основание измерительной опоры; 13 – ролик; 16 – штанга; 19 – рама; 20 – датчик линейных перемещений; 22, 24 – механизм поперечного перемещения; 25, 32 – электрический привод; 26 – блок сбора, обработки и хранения информации; 27 – датчик полного оборота; 28 – деталь; 29 – поверхность детали; 30 – крепление; 31 – устройство продольного перемещения; 32 – силовой привод перемещений

Изготовление опытного образца устройства активного контроля. Макет устройства был собран под модифицированную лабораторную установку и далее доработан по результатам предварительных испытаний. Для проверки разработанного метода контроля и измерения геометрической формы поверхности деталей типа тел вращения, а также с учетом принятых допущений, разработана 3-х мерная модель экспери-

ментальной установки, показанная на рисунке 6. Первоначальный опытный вариант, показанный на рисунке 6 (а), был доработан до варианта, представленного на рисунке 6 (б). Данные конструкции отличаются наличием дополнительного датчика 7, с помощью которого рассчитывается пройденная длина. Датчик установлен в курвиметр 4. Доработанная конструкция обладает большей жесткостью и точностью измерений.



а) б)  
Рисунок 6 – Трехмерная модель экспериментального устройства: а – первоначальный вариант, б – доработанный: 1 – основание; 2 – боковые опоры; 3 – центральная опора; 4 – блок одометра; 5 – датчик угла поворота; 6 – датчик линейного перемещения; 7 – датчик угла поворота

Для предложенного устройства разработана конструкторская документация. Например, на рисунке 7 показан один из чертежей детализации разработанной конструкции устройства.

Для обеспечения возможности создания опытного образца разрабатываемой экспериментальной модели был произведен анализ ее необходимого состава на основе уже имеющейся принципиальной схемы измерения.

*Сборка и тестирование электронных компонентов.* Для экспериментальной установки использовались три датчика: абсолютный датчик угловых перемещений, абсолютный датчик линейных перемещений и инкрементный датчик угловых положений. Такое количество датчиков обусловлено следующими допущениями:

- при уменьшении диаметра щупов точка их контакта с поверхностью при любом радиусе её кривизны стремится к постоянному положению относительно щупа. Как следствие, нет необходимости постоянного изменения положения щупа для ориентации его по нормали к измеряемой поверхности. Поэтому крайние щупы решено зафиксировать в одном положении. Про-

ведена доработка программного обеспечения с учетом радиуса кончика щупов [17].

- первоначальная задача проверки метода заключается в проверке работоспособности метода в случае измерения геометрических параметров формы поверхности в одном сечении. Как следствие, необходимость установки второго абсолютного линейного датчика на штангу отсутствует.

- для упрощения последующей опытной модели применение на экспериментальной установке индуктивного датчика приближения не является целесообразным, его возможно заменить контактной парой, по принципу «вкл/выкл».

Выбор датчиков осуществлялся согласно их назначения и применения в каталоге предприятия ОАО "СКБ ИС", (г. Санкт-Петербург).

*Технические характеристики датчиков.* При реализации устройства использовались датчики для выполнения: ЛИР–ДА237Т-3-Т-18-05-RS-4-2-1,0-В(DB9) – абсолютный угловой фотоэлектрический датчик положения (рисунок 8,а) и ЛИР–ДА7-1-0070-05-3-2-2-3-1,0-В(DB9) – абсолютный линейный фотоэлектрический датчик положения (рисунок 8,б).

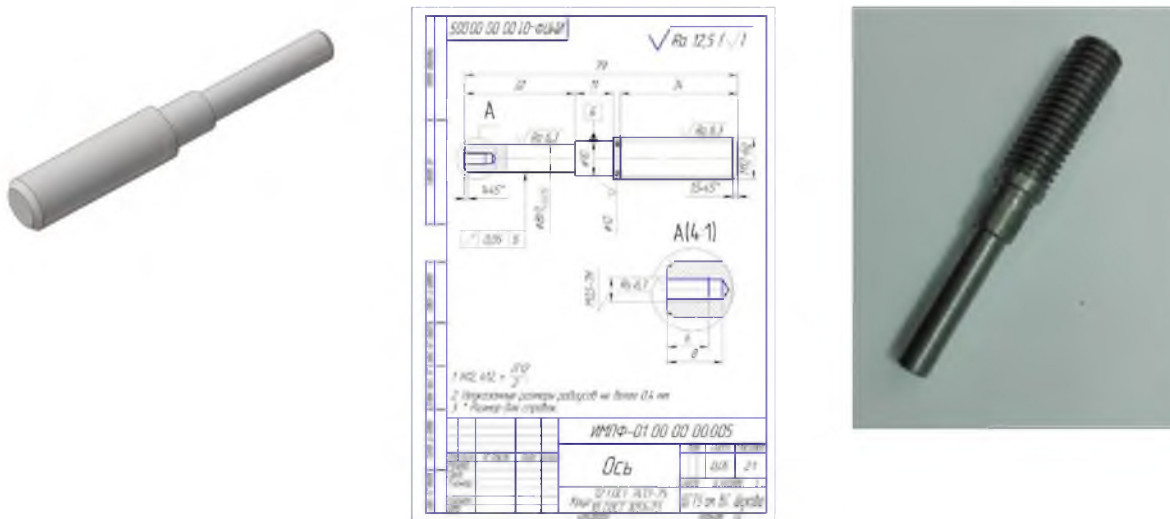


Рисунок 7 - Иллюстрация процесса прототипирования на примере детали «Ось»

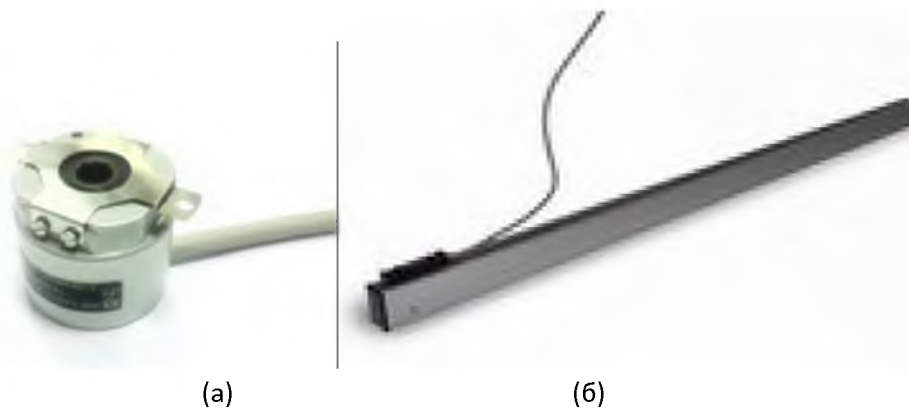


Рисунок 8 – ЛИР-ДА237Т-3-Т-18-05-RS-4-2-1,0-В(DB9) (а) и ЛИР-ДА7-1-0070-05-3-2-2-3-1,0-В(DB9) (б).

Основные характеристики датчиков приведены в таблице 2 и таблице 3

Таблица 2 – Основные технические характеристики датчика угловых положений ЛИР-ДА237Т-3-Т-18-05-RS-4-2-1,0-В(DB9)

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Принцип действия        | фотоэлектрический.   |
| Диаметр корпуса         | 37,5 мм  |
| Польный вал             | 8 мм   |
| Разрешающая способность | до 21 разряда на оборот с возможностью выдачи инкрементного сигнала CH (1Vpp) на 1024 периода/оборот |
| Способ выдачи данных    | – SSI (код Грея и двоичный), BiSS (только двоичный код)  |
| Напряжение питания      | +5 В   |

Таблица 3 – Основные технические характеристики датчика линейных перемещений ЛИР-ДА7-1-0070-05-3-2-2-3-1,0-В(DB9)

|                      |   |
|----------------------|---|
| Принцип действия     | фотоэлектрический   |
| Диапазон перемещений | до 1240 мм  |
| Дискретность         | от 0,1 до 8 мкм   |
| Класс точности       | от 3 до 5   |
| Способ выдачи данных | последовательный, интерфейс SSI, 24 разряда (25 для разрешения 0,1 мкм) |
| Напряжение питания   | +5 В  |

На рисунке 9 приведен общий вид датчиков углового положения.

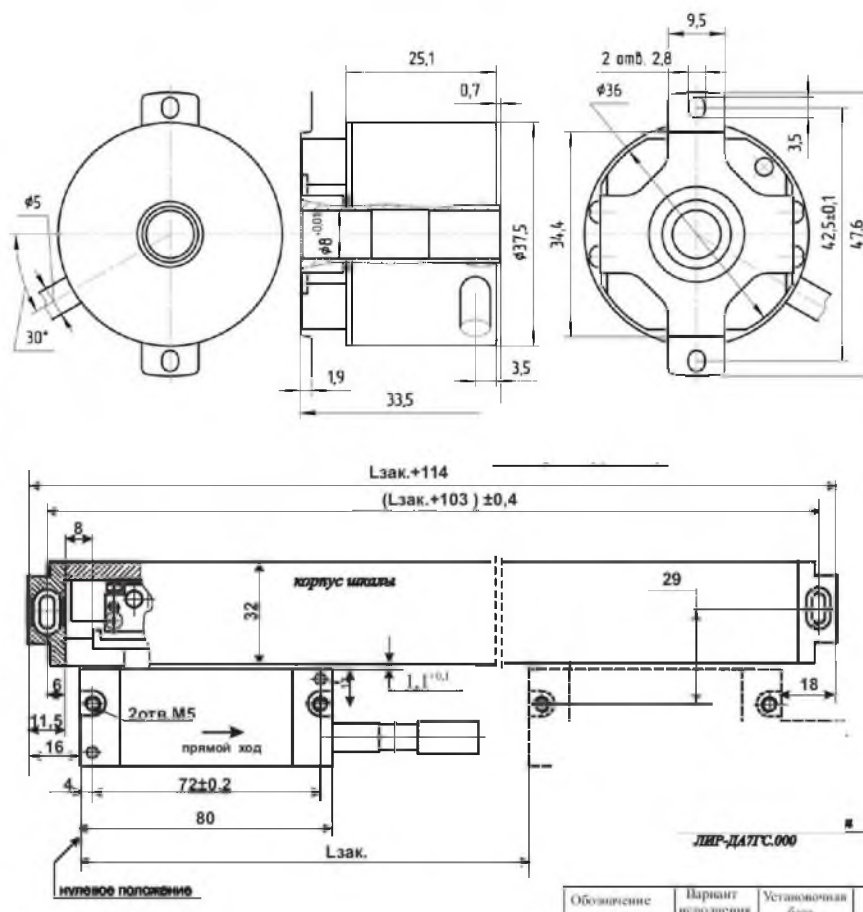


Рисунок 9 - Общий вид датчиков

Собранная опытная модель представляет собой плату, имеющую возможность крепления к стенду за счет предусмотренных 3-х крепежных отверстий, с установленными на неё согласно разработанной конструкции всеми узлами.

Для формирования кода положения после включения питания не требуется предварительного перемещения. Для прямого подключения применяемых датчиков к компьютеру использовалась компьютерная плата ЛИР-941-PCI-9pin-G2.

При разработке прибора определены схемы подключения абсолютных датчиков линейного и углового положения (абсолютных энкодеров) к персональному компьютеру. К плате могут подключаться до четырех датчиков, имеющих последовательный интерфейс передачи данных (SSI). Компьютерная плата опрашивает датчики в соответствии с протоколом SSI и передает полученные данные в память компьютера. Платы устанавливаются на стандартную шину PCI.

Последовательная передача данных (SSI протокол) приведена на рисунке 10.

В исходном состоянии шины CLOCK и DATA находятся в состоянии логической "1". По первому отрицательному фронту сигнала

CLOCK, в течение времени  $t_1$ , датчик фиксирует текущий код положения. По последующим положительным фронтам сигнала CLOCK производится побитная передача зафиксированного значения кода, начиная со старшего разряда. После выдачи  $n$  бит линия DATA устанавливается в состояние логического "0" и удерживается в нем в течение времени  $t_3$ . В течение  $t_3$  прежнее значение кода может быть считано повторно путем перевода сигнала CLOCK в состояние логического "0" и подачи  $n$  импульсов. Выдача одного значения может повторяться неограниченное число раз. По истечении времени  $t_3$  линия DATA устанавливается в состояние логической "1" и датчик готов к фиксации нового значения позиции. Разработанная программа опроса датчика реализована на C#.

*Испытание опытного изделия на макете детали с нестационарной осью вращения.* На рисунке 11 представлен первоначальный опытный образец измерительной головки устройства с датчиками линейных и угловых перемещений, сопряженными с платой обработки информации.



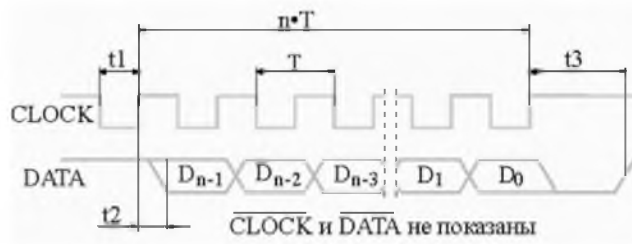


Рисунок 10 - Схема передачи данных:

CLOCK – тактовый сигнал, вырабатываемый ведущим устройством (компьютерной платой); DATA – данные, которые выдает датчик;  $n$  – количество разрядов данных;  $T$  – период тактового сигнала (влияет на скорость передачи);  $t_1 > 0,45$  мкс – время, за которое датчик в очередной раз фиксирует код текущего положения;  $t_2 < 0,2$  мкс – время, за которое датчик выставляет данные на пину Data;  $t_3$  – пауза между запросами



Рисунок 11 – Первоначальный опытный макет измерительной головки устройства с датчиками линейных и угловых перемещений сопряженными с платой обработки информации

На рисунке 12 показана доработанная конструкция устройства в составе мобильной восстановительной обработки.



Рисунок 12 – Доработанная конструкция устройства в составе мобильной восстановительной обработки

После сборки и подключения модели измерительного устройства к ПК произведена его юстировка при помощи плоскопараллельных концевых мер длины (рисунок 13) следующим образом. Первоначально, при зафиксированном основании измерительного устройства, до полного контакта со всеми щупами подводится эталонная плоскость. При этом расчетное значение радиуса аппроксимирующей дуги, по предложенному методу измерения, должно стремиться

к бесконечности, а координата всех точек по оси  $Oy$  должна стремиться, соответственно, нулю. Далее между эталонной плоскостью и щупами центральной опоры вводится концевая мера заданной толщины и по расчетным значениям производится корректировка настроечных параметров. Контроль точности настройки и юстировки произведен по эталонной поверхности с известным радиусом кривизны.



Рисунок 13 – Юстировка модели измерительного устройства

Опытное измерительное устройство было испытано на макете, представляющем собой кольцо номинальным диаметром 510 мм. Экспериментально подтверждена работоспособность опытного изделия, измерены мгновенные параметры формы, такие как радиус аппроксимирующей дуги и координаты точек поверхности в локальной системе координат каждого измерения. По результатам экспериментальных измерений подтверждена работоспособность и правильность алгоритма расчета. Кроме того, работоспособность устройства подтверждают результаты тестирования на трёхмерных цифровых моделях вращающихся цилиндрических деталей с непостоянной осью вращения, с заведомо известными погрешностями формы [18].

Погрешность контролируемых параметров на основе разработанного способа не превышает 25% величины установленного допуска обрабатываемого размера.

### Выводы

1. Разработанная конструкция устройства позволяет выполнять измерения всех требуемых параметров поверхности объекта в заданных диапазонах с использованием принятой методики, в соответствии с особенностями конструкции и геометрических характеристик изделия, а также особенностями поведения детали в процессе измерений.

2. Уточнены базовые параметры устройства для контроля точности в процессе обработки; рабочие диапазоны угловых и линейных перемещений подвижных элементов конструкции, которые могут быть реализованы в конструкциях промышленных устройств; принципиально установлены размерные связи геометрических параметров объекта измерения и базовых геометрических параметров устройства, определяющих необходимое совместное базирование объектов в процессе контроля.

3. Рассмотрен способ выполнения обработки с адаптивным методом управления крупногабаритных деталей с нестационарной осью вращения;

4. По результатам выполнения работ в рамках грантов:

- «Разработка теоретических основ и методик математического моделирования процессов формообразования крупногабаритных колец и оболочек при их обработке с использованием мобильной технологии» - грант Российского фундаментального фонда исследований (РФФИ);

- «Математическое моделирование и оптимизация процессов механической обработки как средство управления технологическими параметрами на основе нечеткой логики» - грант РФФИ;

- «Разработка средств, методов и алгоритмов обеспечения эффективного функционирования автоматизированных станочных систем на

основе имитационных численных и нечетких моделей механической обработки и динамических моделей станочного оборудования» - грант по программе стратегического развития Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова на 2016-2017 гг.

также разработаны теоретические и экспериментальные основы оптимизации механической обработки с точки зрения обеспечения совокупности показателей качества обрабатываемой поверхности, а также алгоритмы на основе нечеткой логики, примененные в системе управления станочным модулем и процессом механической обработки.

5. Предложена функциональная структура системы управления режимами механической обработки деталей с нестационарной осью вращения и неравномерным припуском.

6. Спроектирован и изготовлен макет устройства контроля формы для проверки кинематических, конструктивных и геометрических параметров устройства.

7. Изготовлены детали и узлы макета. Собраны узлы опытного устройства, включающие датчики линейных и угловых перемещений, плату сбора информации с датчиков и обработки в формате, совместимом с системами SCADA. Электронные компоненты собраны и опробованы на тестовом стенде. Разработано прикладное программное обеспечение для опроса датчиков на тестовом стенде.

8. Разработанный программно-аппаратный комплекс, реализованный с использованием полученных научно-технических результатов с соответствующими корректировками в алгоритмах расчета погрешности базирования, точности измерения и некоторых конструктивных особенностей может быть применен и для судоремонтной области в восстановительной обработке крупногабаритных изделий с нестационарной осью вращения.

*Работа выполнена в рамках НИОКР "Разработка алгоритмов активного контроля и управления процессом резания, моделирование элементов программно-аппаратного комплекса с целью определения технических характеристик", финансируемого Фондом содействия инновациям.*

#### Литература

1. Белгородский государственный университет [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Белгород: БГТУ, 2000-2020. – Режим доступа: [http://tm.bstu.ru/scientific\\_publications/](http://tm.bstu.ru/scientific_publications/). – Дата обращения: 11.03.2020. – Загл. с экрана.

2. Государственный морской университет им. адм. адм. Ф.Ф. Ушакова [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Новороссийск: ГМУ, 2002-2020. – Режим доступа: <http://www.aumsu.ru/science/nauchno-issledovatel'skaya-deyatelnost/>. – Дата обращения: 01.02.2010. – Загл. с экрана.
3. Тюрин С.В. Контроль геометрии цилиндрических вращающихся промышленных объектов путем многократных измерений дальностей до их поверхности: дис. канд. техн. наук. – СПб., 2006. – 20 с.
4. Морозова А.Е. Алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы контроля размеров // Качество продукции, контроль, управление, повышение, планирование: сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции 15.11.17 в 3-х томах, Т.2., Юго-Зап. гос. ун-т., Курск. – С.68–70.
5. Пелипенко Н.А. Технология безрамной обработки бандажей и роликов вращающихся печей. // Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроении и промышленности строительных материалов // Сб. науч. трудов Моск. инж.-стр. институт им. В.В. Куйбышева. – 1982.– С. 199–206.
6. Федоренко М.А., Погонин А.А., Бондаренко Ю.А. Восстановление цилиндрической формы при различных видах износа крупногабаритных вращающихся деталей // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. – 2017. – №9.
7. Погонин А.А., Пелипенко Н.А. Рязанов В.И. Приставной станок для обработки крупногабаритных вращающихся деталей. Информационный листок №229–87 ЦНГИ Белгород, 1987.
8. Разработка алгоритмов активного контроля и управления процессом резания, моделирование элементов программно-аппаратного комплекса с целью определения технических характеристик: отчет о НИОКР (заключительный) / ООО «Оптимус», рук. А.В. Гринек. Белгород, 2016. 55 с. Библиогр.: С. 49.
9. Медведев Д.Д. Автоматизированное управление процессом обработки резанием. – М.: Машиностроение, 1980. – 141 с.
10. Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1986. – 256 с.
11. Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г., Протопопов С.П. Адаптивное управление технологическими процессами. – М.: Машиностроение, 1980. – 536 с.
12. Тимофеев С.П., Хургасенко А.В. К вопросу диагностики и активного контроля геометрических параметров крупногабаритных деталей вращения // Молодежь и научно-технический прогресс: Сборник докладов VIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4 т. Т.3/ Сост. Л.В.

- Брыков, В.М. Уваров [и др.]. – Старый Оскол: ООО «Ассистент плюс», 2015. – 273 с.
13. Тимофеев С.П., Хуртасенко А.В. К вопросу диагностики и активного контроля геометрических параметров крупногабаритных деталей вращения // *Техника и технологии машиностроения: материалы IV международной студенческой научно-практической конференции (Омск, 25–30 марта 2015 г.) / Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – 295 с.*
  14. Хуртасенко А.В. Технология восстановительной обработки крупногабаритных деталей с использованием методов активного контроля: монография / А.В. Хуртасенко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 144 с.
  15. Гринек А.В. Нечеткая модель вывода значения скорости резания на основе данных имитационного моделирования / А.В. Гринек, А.В. Рыбина // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2016. Т. 20. № 12. С. 109–118.
  16. Измерительное устройство для определения формы поверхностей крупногабаритных деталей – тел вращения: пат. 161400 Рос. Федерация / Хуртасенко А.В., Тимофеев С.П., Шрубченко И.В., Воронкова М.Н., Гринек А.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «БГТУ им. В.Г. Шухова» №2015152710/28, 08.12.2015; опубл.: 20.04.2016 Бюл. № 11.
  17. Доработка программного обеспечения с учетом радиуса кончика щупов: Тимофеев С.П., Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В. К вопросу точности определения геометрических параметров формы поверхностей деталей опор технологических барабанов / IX Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство» – Белгород, 2017.
  18. Хуртасенко А.В., Тимофеев С.П. Особенности моделирования формообразования поверхностей крупногабаритных деталей при восстановительной обработке / Международная научно-техническая конференция молодых ученых. Белгород, 2018. – ISBN 978-5-361-00633-5.
- References**
1. [http://tm.bstu.ru/scientific\\_publications](http://tm.bstu.ru/scientific_publications).
  2. <http://www.aumsu.ru/science/nauchno-issledovatel'skaya-deyatelnost>.
  3. Tyurin S.V. Kontrol' geometrii czilindricheskikh vrashhayushhikh promy'shlenny'kh ob'ektov putem mnogokratny'kh izmerenij dal'nostej do ikh poverkhnosti [Geometry control of cylindrical rotating industrial objects by repeated measurements of distances to their surface]: dis. kand. tekhn. Nauk, SPb., 2006, 20 p.
  4. Morozova A.E. Algoritmicheskoe obespechenie avtomatizirovannoj sistemy' kontrolya razmerov, Kachestvo produkcii, kontrol', upravlenie, povy'shenie, planirovanie [Algorithmic support of an automated size control system, Product quality, control, management, improvement, planning]: sbornik nauchny'kh trudov Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoj konferenczii 15.11.17 v 3-kh tomakh, T.2., Yugo-Zap. gos. unt., Kursk, pp. 68–70.
  5. Pelipenko N.A. Tekhnologiya bezramnoj obrabotki bandazhej i rolikov vrashhayushhikh pechej. Mekhanizaciya i avtomatizaciya tekhnologicheskikh processov v mashinostroenii i promy'shlennosti stroitel'ny'kh materialov [The technology of frameless processing of bandages and rollers of rotary kilns. Mechanization and automation of technological processes in mechanical engineering and building materials industry]: Sb. nauch. trudov Mosk. inzh.-str. institut im. V.V. Kujby'sheva, 1982, pp. 199–206.
  6. Fedorenko M.A., Pogonin A.A., Bondarenko Yu.A. Vosstanovlenie czilindricheskoj formy' pri razlichny'kh vidakh iznosa krupnogabaritny'kh vrashhayushhikh detal'ej [The restoration of a cylindrical shape with various types of wear of large-sized rotating parts]: Vestnik BGTU imeni V.G. Shukhova. – 2017, no. 9.
  7. Pogonin A.A., Pelipenko N.A., Ryazanov V.I. Pristavnoj stanok dlya obrabotki krupnogabaritny'kh vrashhayushhikh detal'ej [Attachment machine for processing large rotating parts]: Informacionny'j listok no. 229-87 CzNGI Belgorod, 1987.
  8. Razrabotka algoritmov aktivnogo kontrolya i upravleniya processom rezaniya, modelirovanie e'lementov programmno-apparatnogo kompleksa s czel'yu opredeleniya tekhnicheskikh kharakteristik [Development of algorithms for active control and management of the cutting process, modeling of elements of the software and hardware complex in order to determine the technical characteristics]: otchet o NIOKTR (zaklyuchitel'ny'j). ООО «Optimus», ruk. A.V. Grinek. Belgorod, 2016. 55 p. Bibliogr.: p. 49.
  9. Medvedev D.D. Avtomatizirovannoe upravlenie processom obrabotki rezaniem [Automated control of the cutting process]. M.: Mashinostroenie, 1980, 141 p.
  10. Solomenczev Yu.M., Mitrofanov V.G. Avtomatizirovannoe proektirovanie i proizvodstvo v mashinostroenii [Automated design and production in mechanical engineering]. M.: Mashinostroenie, 1986, 256 p.
  11. Solomenczev Yu.M., Mitrofanov V.G., Protopopov S.P. Adaptivnoe upravlenie tekhnologicheskimi processami [Adaptive process control]. M.: Mashinostroenie, 1980, 536 P.
  12. Timofeev S.P., Khurtasenko A.V. K voprosu diagnostiki i aktivnogo kontrolya geometricheskikh parametrov krupnogabaritny'kh detal'ej vrashheniya [On the issue of diagnostics and active control of geometric parameters of large-sized rotation parts]. Molodezh' i nauchno-tekhnicheskij progress: Sbornik dokladov VIII mezhdunarodnoj

- nauchno-prakticheskoy konferenczii studentov, aspirantov i molody'kh ucheny'kh. V 4 t. T.3/ Sost. L.V. Bry'kov, V.M. Uvarov [i dr.]. - Stary'j Oskol: OOO "Assistent plyus", 2015, 273 p.
13. Timofeev S.P., Khurtasenko A.V. K voprosu diagnostiki i aktivnogo kontrolya geometricheskikh parametrov krupnogabaritny'kh detalej vrashheniya [On the issue of diagnostics and active control of geometric parameters of large-sized rotation parts]. *Tekhnika i tekhnologii mashinostroeniya: materialy' IV mezhdunarodnoj studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferenczii (Omsk, 25-30 marta 2015 g.)*. Minobrnauki Rossii, OmGTU. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2015, 295 p.
  14. Khurtasenko A.V. Tekhnologiya vosstanovitel'noj obrabotki krupnogabaritny'kh detalej s ispol'zovaniem metodov aktivnogo kontrolya: monografiya [Technology for the recovery processing of large parts using active control methods]: A.V. Khurtasenko. Belgorod: Izdvo BGTU, 2012, 144 p.
  15. Grinek A.V., Rybina A.V. Nechetkaja model' vyvoda znachenija skorosti reza-nija na osnove dannyh imitacionnogo modelirovaniya (2016) [A fuzzy model for deriving the cutting speed value based on simulation data]. 20 (12), pp. 109–118.
  16. Izmeritel'noe ustrojstvo dlya opredeleniya formy' poverkhnostej krupnogabaritnykh detalej - tel vrashheniya [Measuring device for determining the shape of the surfaces of large parts - bodies of revolution]: pat. 161400 Ros. Federacziya, Khurtasenko A.V., Timofeev S.P., Shrubchenko I.V., Voronkova M.N., Grinek A.V.; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «BGTU im. V.G. Shukhova» no. 2015152710/28, 08.12.2015; opubl.: 20.04.2016 Byul. no. 11.
  17. Dorabotka programmogo obespecheniya s uchetom radiusa konchika shhupov: Timofeev S.P., Khurtasenko A.V., Shubchenko I.V. K voprosu tochnosti opredeleniya geometricheskikh parametrov formy' poverkhnostej detalej opor tekhnologicheskikh barabanov [Customization of software based on the tip radius]. IX Mezhdunarodny'j molodezhny'j forum «Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo» – Belgorod, 2017.
  18. Khurtasenko A.V., Timofeev S.P. Osobennosti modelirovaniya formoobrazovaniya poverkhnostej krupnogabaritny'kh detalej pri vosstanovitel'noj obrabotke [Features of modeling the shaping of surfaces of large parts during recovery processing]. *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferencziya molody'kh ucheny'kh*. Belgorod, 2018, ISBN 978-5-361-00633-