

Модернизация станков с ЧПУ и автоматизированная система сбора данных их функционирования

Рассмотрены возможности модернизации станков с ЧПУ на базе отечественных систем управления. Приведен алгоритм автоматизированной системы сбора информации функционирования станков с ЧПУ.

Ключевые слова: модернизация; автоматизированная система; станок с ЧПУ; производственная сеть; система управления.

**D.I. Petreshin, D.Eng.,
A.G. Suslov, D.Eng.,
O.N. Fedonin, D.Eng.**
(Bryansk State Technical University,
7, 50-th October Anniversary Avenue, Bryansk, 241035)

NC machines upgrade and automated system for data collection NC machines functioning

The possibilities of NC machines upgrade based on domestic systems of control are considered. The algorithm for an automated system of information collection of NC machines functioning is shown.

Keywords: upgrade; automated system; NC machine; factory area network; control system.

Развитие отечественного машиностроения осложняется, прежде всего, тем, что физический и моральный износ основных средств производства достиг в настоящее время критического уровня и составляет от 65 до 75 % и более [1]. В существующей экономической ситуации одним из способов обновления основных средств производства предприятий, в том числе и металлорежущих станков с ЧПУ, является их модернизация.

В зависимости от текущего состояния элементов металлорежущего станка с ЧПУ модернизация может затронуть систему управления и электроавтоматику станка или механическую, гидравлическую и другие части станка.

В данной статье на примере выполненных

работ по модернизации систем управления и электроавтоматики станков рассматриваются те возможности, которые в результате может приобрести предприятие от эксплуатации, казалось бы, устаревшего оборудования.

При модернизации системы управления и электроавтоматики станка выполнялись следующие виды работы: разработка проекта модернизации металлорежущего станка; замена всей существующей системы управления металлорежущего станка; замена электроприводов станка; замена измерительной системы станка; замена элементов электроавтоматики станка; разработка и отладка программы логики станка; проверка на точность станка после модернизации.

При выборе новой системы управления ме-

таллорежущего станка предпочтение было отдано отечественному производителю устройств ЧПУ (УЧПУ). Данные УЧПУ построены на базе промышленного компьютера. Поэтому в УЧПУ имеется возможность ввода управляющих программ с использованием Flash-носителей и сетевых технологий.

Эффективность современных машиностроительных производств во многом определяется уровнем управления и организации производственных и технологических процессов (ТП), возможностью снижения издержек временных и материальных ресурсов с целью обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Для эффективного решения обозначенных задач современному руководителю требуется активно использовать средства автоматизации управленческих процессов, которые являются одним из самых важных факторов конкурентоспособности на рынке.

Для получения актуальной информации о работе технологического оборудования может быть использована система сбора данных о работе станка. Встречаются две аббревиатуры подобной системы: MDA (Machine Data Acquisition) [2] и MDC (Machine Data Collection) [3]. MDC-система – система мониторинга, обеспечивающая получение информации необходимого объема и подробности для наблюдаемости состояний оборудования, позволяющая принимать управленческие решения и производить управляющие воздействия с целью обеспечить необходимый запас устойчивости объекта мониторинга и качество его функционирования. Система MDC входит составным модулем в функциональную группу «Производство» автоматизированной системы управления производственными процессами (MES - Manufacturing Execution System) [2, 3].

Система MDC представляет собой аппаратно-программный комплекс [4], встраиваемый в технологическое оборудование. Для этого целесообразнее использовать металлорежущий станок, оснащенный УЧПУ, так как в этом случае информация о состоянии станка может быть извлечена из УЧПУ. Возможности современных УЧПУ, построенных на базе промышленных компьютеров, позволяют получить достаточно подробную информацию о состоянии станка, УЧПУ, причинах простоя, количестве обработанных деталей, программе, выполняемой в данный момент на оборудовании, и т.п.

Предлагаемый вариант структуры автома-

тизированной системы сбора и анализа производственных данных с металлорежущих станков с ЧПУ (рис. 1) включает в себя персональный компьютер (ПК), сетевой концентратор (Hub), кабели для промышленных сетей. В том случае, когда в УЧПУ отсутствует последовательный интерфейс Ethernet, а имеется либо последовательный интерфейс RS232, либо только параллельный дискретный выход УЧПУ, между сетевым концентратором Hub и УЧПУ необходимо подключить устройство сопряжения (на рис. 1 не показано). Функция устройства сопряжения – преобразовать последовательный интерфейс RS232 или параллельный код в формат последовательного интерфейса Ethernet.

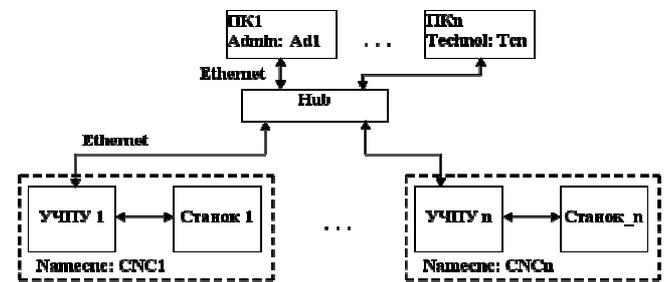


Рис. 1. Структура автоматизированной системы сбора и анализа данных с металлорежущих станков с ЧПУ: Hub – сетевой концентратор; Ethernet – последовательный интерфейс; CNC1, CNCn – сетевые имена УЧПУ; Ad1 – имя администратора в сети; Tcn – имя технолога в сети

Автоматизированная система сбора и анализа производственных данных с металлорежущих станков с ЧПУ позволяет осуществлять мониторинг работы оборудования в реальном времени. Данная система выполняет анализ и классификацию причин простоя оборудования, информировать соответствующие службы предприятия о простое оборудования, выполнять администрирование технологических программ на станках с ЧПУ, вести журнал технического обслуживания (ТО), который предназначен для напоминания о необходимости ТО, создавать отчеты о его работе и причинах простоя. Таким образом, использование автоматизированной системы должно обеспечивать повышение эффективности организации планирования производства и функционирования станков с ЧПУ.

Автоматизированная система сбора и анализа производственных данных с металлорежущих станков с ЧПУ включает в себя аппаратное и программное обеспечения (см. рис.1) [4]. Аппаратное обеспечение включает следу-

ющее: устройство сопряжения (УС), сетевой коммутатор, персональную электронно-вычислительную машину (ПЭВМ), кабели соединительные.

Программное обеспечение (ПО) включает: ПО, осуществляющее прием и анализ информации о состоянии станков с ЧПУ, ПО для аппаратной части (для УС), программный модуль для станка с ЧПУ (рис. 2).

Одним из основных элементов автоматизированной системы сбора и анализа производственных данных с металлорежущих станков с ЧПУ является устройство сопряжения (УС).

УС получает информацию о состоянии станков (работа по программе, простой и пр.), производит ее первичную обработку и по каналу Ethernet через сетевой коммутатор передает ее на ПЭВМ, где с помощью специального программного обеспечения происходит дальнейшая обработка и предоставление в форме удобной для пользователя: графиков, диаграмм и таблиц. Затем обработанная информация при необходимости может быть передана по локальной сети предприятия. Помимо этого за счет подключенных к УС дополнительных устройств осуществляется следующее: учет потребленной электроэнергии оборудованием, фиксации времени начала и окончания работ сотрудников, контроль и диагностирование режущего инструмента.

УС предназначено для передачи информации (состояние станка, состояние инструмента, коды ошибок, количество выполненных деталей и т.д.) от УЧПУ в ПЭВМ. УС подключается к дискретным выходам УЧПУ. Используя программу логики станка, актуальная информация о состоянии оборудования, инструмента и т.д. через дискретные выходы УЧПУ передается в УС и далее на ПЭВМ [6].

Особенностью разрабатываемой автоматизированной системы сбора и анализа производственных данных с металлорежущих станков с ЧПУ является ориентация на производителей отечественных УЧПУ. Она позволит службам предприятия контролировать работу

станков, помочь планировать производство, управлять загруженностью станков и своевременно устранять простои, а также предупреждать о необходимости смены режущего инструмента. Фиксация коэффициента загрузки оборудования позволит выявить оборудование, использующееся в неполную силу и загрузить его.

Металлорежущих станков с ЧПУ и УЧПУ существует огромное множество, поэтому то, какие события и сигналы будут отслеживаться системой, будет зависеть от типа оборудования и пожеланий заказчика. Что касается причин текущего простоя станка, то оператор вводит причину простоя вручную с пульта оператора. Перечень возможных причин простоя настраивается согласно необходимости.

Наличие в УЧПУ канала LAN, обеспечивающего подключение его к информационной сети, позволяет организовать на базе УЧПУ локальную производственную сеть (см. рис. 1). Это позволяет на предприятии реализовать безбумажный документооборот, начиная от чертежа детали, далее к технологической документации и управляющей программе (УП), и до готовой детали [5].

В данной локальной производственной сети используются персональные компьютеры (ПК) с правами доступа администратора и технолога. Администратор в данной сети имеет возможность копировать файлы с УП из УЧПУ к себе на ПК, записывать файлы с УП в УЧПУ, редактировать УП расположенную в УЧПУ. Права технолога в данной сети ограничены. Пользователь с правами технолога имеет возможность только скопировать УП из УЧПУ к себе на ПК. Для того чтобы пользователь с правами технолога записал УП в УЧПУ ему необходимо скопировать ее на ПК администратора. Это сделано для того, чтобы повысить защиту УЧПУ от действия вредоносных программ, при этом предполагается, что ПК администратора имеет защиту от данного вида программ.

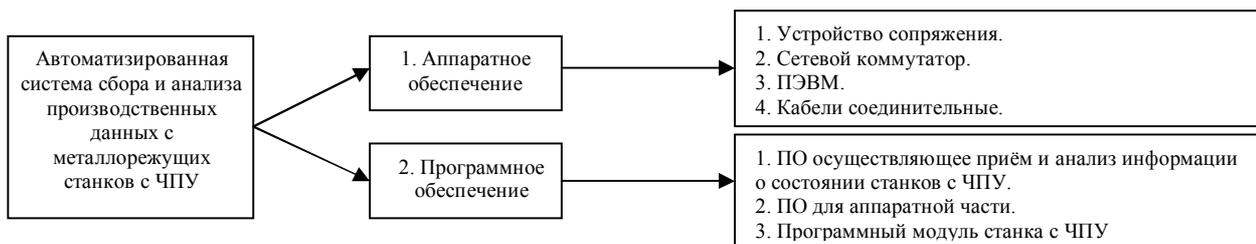


Рис. 2. Состав автоматизированной системы сбора и анализа производственных данных с металлорежущих станков с ЧПУ

Если все УП хранятся на диске УЧПУ, то оператор УЧПУ может только просмотреть содержимое папок ПК, доступ к которым открыт на ПК. Имеется возможность хранить все УП на удаленном компьютере, и выполнять их с диска удаленного ПК, т.е. во время выполнения УП на станке она будет передаваться по сети. В этом случае оператору станка с ЧПУ открыт доступ к папке с УП удаленного ПК, при этом на него возлагается определенная ответственность, т.к. он может их редактировать.

Практическая реализация локальной производственной сети была реализована на базе металлорежущих станков модели МС032 и 1В340Ф30, у которых были модернизированы системы управления. В сети были использованы два ПК для организации рабочих мест пользователей с правами администратора и технолога. Используя программы для автоматизированного проектирования, были разработаны чертежи деталей, технологическая документация и УП для станков с ЧПУ [5].

Одна из задач, которая решается при механической обработке на металлорежущих станках с ЧПУ это обеспечение заданной точности размера и формы обработанной поверхности. Точность размера и формы зависит от многих факторов, в том числе и от текущего состояния станка. В процессе эксплуатации станка с ЧПУ происходит изменение его состояния, и как результат – частичная потеря его точности. Задача обеспечения требуемой точности металлорежущего станка с ЧПУ может быть частично решена за счет возможностей современного УЧПУ.



Рис. 3. Практическая реализация локальной производственной сети

Физический износ механической части металлорежущего станка с ЧПУ можно устранить проведением капитального ремонта, включающего восстановление направляющих, замену деталей шпиндельного узла, ходовой части приводов и т.д. Для обеспечения задан-

ной точности металлорежущего станка с ЧПУ, после проведения капитального ремонта, необходимо определить его статические и динамические погрешности. К ним относятся зазоры в механических передачах, погрешность, обусловленная наличием трения покоя, накопленная погрешность ходового винта, сервоошибка и др. Данные погрешности могут быть полностью или частично скомпенсированы модернизированной УЧПУ за счет использования набора станочных параметров, позволяющих компенсировать статические и уменьшить динамические погрешности станка и его системы управления.

С целью определения причины возникновения контурной погрешности, а также ее снижения, разработана методика [6], позволяющая определять и компенсировать статические и динамические погрешности, влияющие на точность отработки траектории. Накопленные погрешности ходового винта, зазор в механических передачах, зона нечувствительности привода, погрешность, обусловленная наличием дрейфа нуля привода подач станка и трением покоя определяются с помощью разработанной системы диагностики рис. 4.

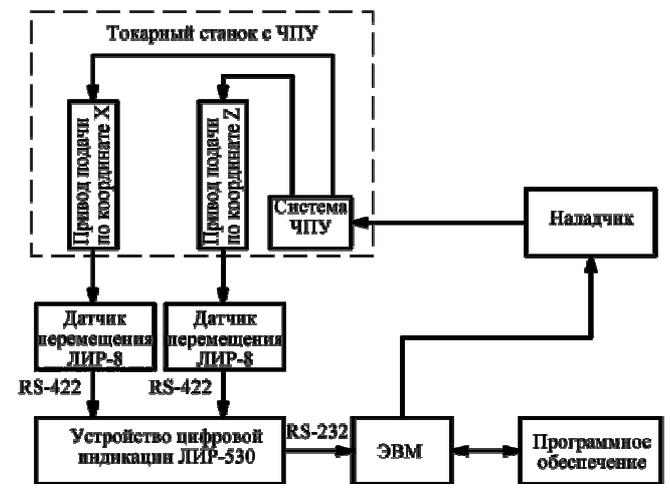


Рис. 4. Блок-схема системы диагностики точности токарного станка с ЧПУ

Экспериментальные исследования по повышению точности токарного станка с ЧПУ проводились на токарном станке с ЧПУ модели 1В340Ф30 с модернизированной системой управления. С помощью разработанной системы диагностики определялась необходимость повышения точности токарного станка с ЧПУ. Для этого обрабатывалась круговая траектория (рис. 5, а) исполнительными органами станка. В процессе отработки круговой траектории системой диагностики определялась фактическая траектория перемещения (рис. 5, б).

По фактической траектории определялась контурная погрешность перемещения исполнительных органов станка как разность между наибольшим и наименьшим отклонением радиуса траектории перемещения. Заданная в управляющей программе (идеальная) траектория перемещения рабочих органов станка совпадает с осью абсцисс (рис. 5, б).

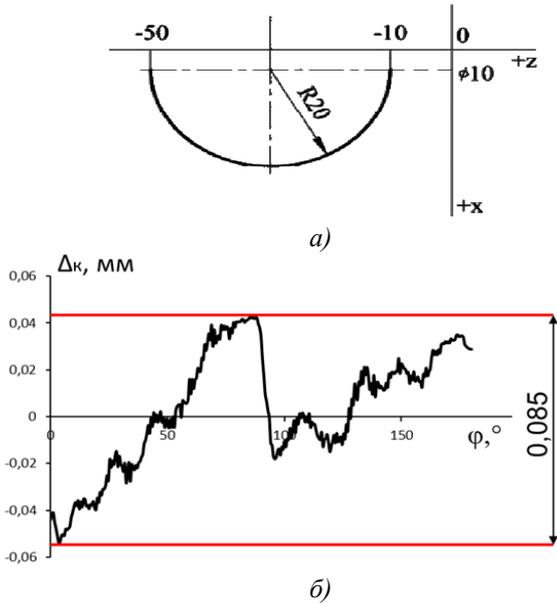


Рис. 5. Траектория перемещения исполнительных органов станка:
 а – траектория в полярных координатах, заданная в управляющей программе (идеальная); б – фактическая траектория, полученная при отработке кадра приводами подачи станка

Радиус круговой траектории перемещения исполнительных органов станка составлял 20 мм, контурная подача – 200 мм/мин. Контурная погрешность фактической траектории составляет $\Delta_k = 0,085$ мм (см. рис. 5). Фактическая траектория исполнительных органов станка в полярных координатах представлена на рис. 6.

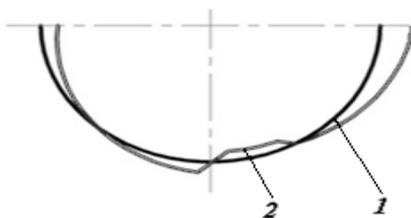


Рис. 6. Фактическая траектория перемещения исполнительных органов станка в полярных координатах:
 1 – заданная траектория; 2 – фактическая траектория

В результате проведения мероприятий по диагностированию и повышению точности токарного станка с ЧПУ мод. 1В340Ф30, удалось повысить на 30 % точность обработки

траектории перемещения рабочих органов станка, что в абсолютных величинах имеет следующие значения: начальная контурная погрешность $\Delta_{к.нач} = 85$ мкм; конечная контурная погрешность $\Delta_{к.кон} = 60$ мкм (рис. 7).

Разработанная методика [6] диагностики (диагностика станка производится после текущих, внеплановых и капитальных ремонтов) и компенсации погрешностей станка применяется при модернизации системы управления станка. Кроме того, она может быть использована в процессе эксплуатации станка, когда происходит изменение состояния самого станка и, как результат, частичная потеря его точности. В этом случае также требуется корректировка настроек УЧПУ. При этом, как показал пример, только за счет настроек параметров УЧПУ, без ремонта механической части станка, удастся повысить точность обработки траектории перемещения рабочих органов станка на 30 %.

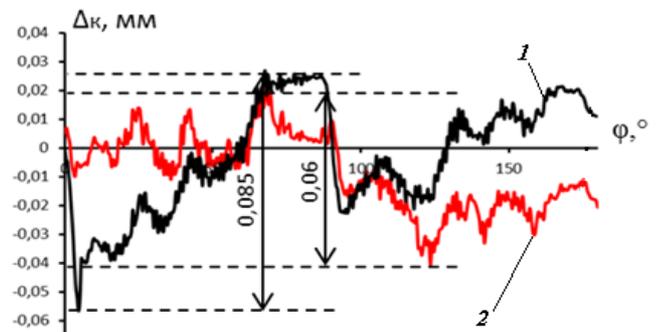


Рис. 7. Результат настройки станочных параметров:
 1 – исходная траектория (до корректировки);
 2 – окончательная траектория (после корректировки)

Перспективным направлением в управлении ходом технологического процесса является разработка адаптивных систем управления (АДСУ) параметрами качества поверхностного слоя. Современные УЧПУ, построенные на базе промышленного компьютера, не имеют режима адаптивного управления параметрами качества поверхностного слоя во время механической обработки. Для функционирования АДСУ параметрами качества поверхностного слоя необходимо получить информацию от датчиков, измеряющих выходные параметры процесса резания, произвести ее обработку и сформировать управляющее воздействие.

В основе адаптивного управления металлообработкой лежит знание качественных и количественных зависимостей между управляющими воздействиями, параметрами процесса, свойствами технологической системы и выходными показателями процесса резания.

Для функционирования АдСУ параметрами качества поверхностного слоя необходимо иметь математическую модель, связывающую выходные параметры управляемого процесса с его входными управляющими воздействиями. Однако, как показывает анализ, не для всех обрабатываемых материалов и условий обработки имеются такие зависимости. Задача существенно осложняется при обработке новых материалов, при использовании новых инструментальных материалов, при внедрении новых технологических процессов, т.е. когда справочные данные по ним отсутствуют или не адекватны реальным условиям.

В связи с этим возникает необходимость в проведении дополнительных экспериментальных исследований, что в реальных условиях для предприятий невыгодно. Данная проблема может быть устранена путем обучения или самообучения системы в процессе управления технологической системой и в использовании накапливаемой информации.

Самообучающаяся технологическая система – это система адаптивного управления металлорежущего станка с ЧПУ, работа которой заключается в получении математической модели [6], связывающей параметры качества поверхности с условиями обработки, и использовании полученной модели для управления технологической системой по любому из параметров качества. Исходя из этого, система должна иметь вычислительное устройство, двунаправленный канал связи с технологической системой, датчики для контроля выходных параметров процесса резания, а также программное и алгоритмическое обеспечение. Структурная схема самообучающейся технологической системы будет иметь вид, представленный на рис. 8.

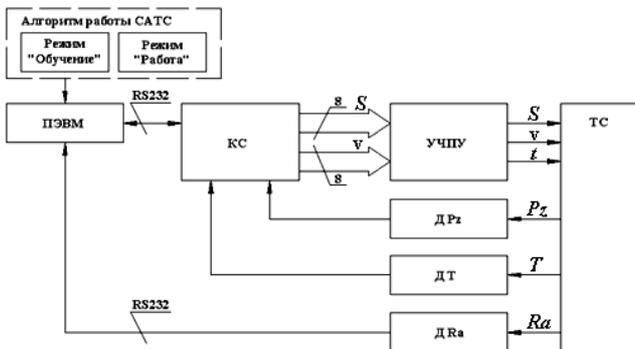


Рис. 8. Структурная схема самообучающейся технологической системы

Самообучающаяся технологическая система разработана на базе модернизированного

токарного станка мод. 16Б16 Ф3 с УЧПУ NC200. В состав системы входят следующие основные элементы: технологическая система (ТС); датчик, измеряющий тангенциальную составляющую силы резания ($D P_z$), датчик измеряющий текущую температуру в зоне резания ($D T$) и датчик измеряющий параметр шероховатости Ra ($D Ra$) – optoNCDT 1700-2; контроллер сопряжения (КС) датчиков ($D P_z$) и ($D T$) с ПЭВМ и ПЭВМ с УЧПУ; УЧПУ типа NC200 (класс PCNC), обеспечивающая управление ТС за счет изменения подачи S , скорости резания v и глубины резания t .

В большинстве случаев УЧПУ предназначены только для управления процессом обработки деталей. Поэтому для того, чтобы построить на базе станка с УЧПУ самообучающуюся технологическую систему, которая должна вычислять математическую модель, вести базу данных и анализировать ситуацию во время обработки необходимо использовать ПЭВМ с соответствующим алгоритмом работы.

Контроллер сопряжения предназначен для организации обмена информацией между датчиками ($D P_z$) и ($D T$); и ПЭВМ и ПЭВМ с УЧПУ. В состав контроллера входят элементы, преобразующие аналоговый сигнал, поступающий с датчиков, в цифровой, и передающие его в ПЭВМ. Вычисленная величина поправки (подачи, скорости резания и глубины резания) передается от ПЭВМ контроллеру сопряжения и далее в УЧПУ.

В самообучающейся технологической системе предусмотрены два режима работы «Самообучение» и «Работа» [7]. Режим «Самообучение» предназначен для определения параметров математической модели и сохранения результата самообучения в базе данных системы. Для определения параметров математической модели в самообучающейся технологической системе проводится активный эксперимент непосредственно на рабочем месте. Полученные в ходе эксперимента данные статистически обрабатываются и определяются параметры математической модели, которые запоминаются в базе данных системы вместе с исходными данными. Исходными данными являются: геометрия режущей части инструмента, материал режущей части инструмента, материал обрабатываемой заготовки и его твердость, обеспечиваемый параметр качества поверхностного слоя, величина допуска на обеспечиваемый параметр качества.

Во время проведения эксперимента самообучающаяся технологическая система авто-

математически определяет значения параметра шероховатости Ra прямым методом измерения [4], значения поверхностной микротвердости и поверхностных остаточных напряжений определяются косвенным методом, на основе измерений главной составляющей силы резания P_z и температуры в зоне резания. На основе определенных значений рассчитывается величина комплексного параметра S_x .

Режим «Работа» используется для обеспечения заданного значения параметра качества поверхностного слоя или комплексного параметра S_x . При этом осуществляется адаптивное управление технологической системой по заданному параметру. В этом режиме осуществляется прием измерительной информации от датчиков, установленных вблизи зоны резания, анализ полученной информации, и на основе анализа принимается решение об управлении технологической системой.

Работа самообучающейся технологической системы была проверена в режиме адаптивного управления при обеспечении параметров качества поверхностного слоя деталей машин [9]. Полученные результаты можно считать вполне удовлетворительными и они подтверждают работу системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Половинкин В.Н. Модернизация машиностроения. Цифры. Тенденции. Вызовы. // Экспертный союз. 2012. № 1. <http://www.unionexpert.ru/index.php/news/item/264-modernization>.
2. Meye H. Manufacturing Execution Systems Optimal Design, Planning and Deployment / Heiko Meyer, Franz Fuchs, Klaus Thiel. The McGraw-Hill Companies, 2009. pp. 271.
3. Kletti J. Manufacturing Execution Systems – MES / Jurgen Kletti. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. pp. 276.
4. Федонин О.Н., Петрешин Д.И., Карпушкин В.А. Разработка алгоритма функционирования автоматизированной системы сбора и анализа данных с металлорежущих станков с ЧПУ // Вестник Брянского государственного технического университета. 2014. №1 (41) С. 58–62.
5. Федонин О.Н., Сьянов С.Ю., Хандожко В.А. Автоматизация технологической подготовки производства деталей в интегрированных системах проектирования и

управления с поддержкой управления CNC // Справочник. Инженерный Журнал. 2009. № 10. С. 29–32.

6. Федонин О.Н., Петрешин Д.И., Хандожко В.А., Агеенко А.В. Модернизация металлообрабатывающих станков, применяемых в условиях автоматизированного производства // Вестник Брянского государственного технического университета. 2009. № 3. С. 57–59.

7. Суслов А.Г., Петрешин Д.И. Определение закона управления для адаптивной технологической системы при обеспечении заданных параметров качества поверхностного слоя деталей машин при механической обработке // СТИИ. 2010. № 1. С. 30–36.

8. Петрешин Д.И. Структура программного обеспечения самообучающейся адаптивной технологической системы // Вестник Брянского государственного технического университета. 2009. № 4. С. 95–99.

9. Петрешин Д.И. Технологическое обеспечение параметров качества поверхностного слоя деталей машин в условиях неопределенности // Научно-технические технологии в машиностроении. 2012. № 9(15). С. 25–27.

REFERENCES

1. Polovinkin V.N., Mechanical Engineering Modernization. Figures. Trends. Challenges. // Expert Union. 2012. № 1. <http://www.unionexpert.ru/index.php/news/item/264-modernization>.
2. Meye H. Manufacturing Execution Systems Optimal Design, Planning and Deployment / Heiko Meyer, Franz Fuchs, Klaus Thiel. The McGraw-Hill Companies, 2009. pp. 271.
3. Kletti J. Manufacturing Execution Systems – MES / Jurgen Kletti. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. pp. 276.
4. Fedonin O.N., Petreshin D.I., Karpushkin V.A., Development of algorithm of functioning an automated system of collection and analysis of NC machines // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2014. №1 (41) pp. 58–62.
5. Fedonin O.N., Siyanov S.Yu., Khandozhko V.A. Automation of technological reproduction of parts in integrated design and control systems with CNC support // *Reference Book. Engineering Journal*. 2009. № 10. pp. 29–32.
6. Fedonin O.N., Petreshin D.I., Khandozhko V.A., Ageenko A.V. Modernization of mechanical equipment used under conditions of automated production // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2009. № 3. pp. 57–59.
7. Suslov A.G., Petreshin D.I. *Definition of Control Law for Adaptive Technological System at Ensuring Specified Parameters of Machinery Surface Layer Quality at Machining* // STIN. 2010. № 1. pp. 30–36.
8. Petreshin D.I., Software structure of self-training adaptive technological system // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2009. № 4. pp. 95–99.
9. Petreshin D.I., Technological ensuring quality parameters of machinery surface layer under conditions of uncertainty // *Science intensive technologies in Mechanical Engineering*. 2012. № 9(15). pp. 25–27.

Рецензент д.т.н. В.И. Аверченко

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

"Брянский государственный технический университет"

241035, г. Брянск, бульвар 50-летия Октября, 7

<http://www.ntmash.tu-bryansk.ru>

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39. E-mail: naukatm@yandex.ru

Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов. Корректор Н.В. Дюбова.

Сдано в набор 19.02.2016. Подписано в печать 15.04.2016.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.

Отпечатано в типографии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования

"Брянский государственный технический университет"

241035, г. Брянск, бульвар 50-летия Октября, 7