

УДК 621.192

DOI 10.18698/0536-1044-2016-5-84-90

Аппаратно-программное обеспечение исследований состояния токарных станков по параметрам траекторий перемещения суппортного узла

А.Г. Ягопольский, Н.Ю. Кропотин

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Hardware and Software Provisions for Studying the Condition of Lathes by Parameters of the Support Unit Movement Paths

A.G. Yagopolskiy, N.J. Kropotin

BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

@ e-mail: elessar.vtx@gmail.com

i Разработка и создание оптико-электронного аппаратно-программного обеспечения исследований состояния токарных станков по параметрам траекторий перемещения суппортного узла — актуальная задача. Показано, что важнейшим направлением разработки программного метода испытаний является создание методического и информационного обеспечения диагностирования и прогнозирования технологической надежности станков по параметрам траекторий перемещения суппортного узла станка. Экспериментальные исследования показали, что диагностирование токарных станков по параметрам траекторий перемещения суппортных узлов можно осуществлять с помощью оптико-электронного мехатронного комплекса диагностических испытаний. Предлагаемый комплекс позволяет проводить автоматизированную обработку и анализ информации о параметрах траекторий перемещения суппортного узла в интерактивном режиме и имеет возможность легкой адаптации аппаратной части к конструктивным особенностям конкретного диагностируемого станка.

Ключевые слова: токарный станок, экспериментальные исследования, прогнозирование, суппортный узел, параметры траекторий перемещений, аппаратно-программное обеспечение.

i Design and development of optical-electronic hardware and software for studying lathe condition by parameters of the support unit movement paths is a topical task. It is shown that the most important area in developing the software-based testing method is the creation of methodological and information support for the diagnostics and forecasting of lathe reliability by parameters of the support unit movement paths. Experimental studies have shown that lathe diagnostics by the parameters of the support unit movement paths can be performed with the help of an optical-electronic mechatronic set of diagnostic tests. The proposed tests can be used for automated processing and analysis of the data on the support unit movement paths in an interactive mode. The hardware can be easily adapted to the design features of a particular lathe that is being diagnosed.

Keywords: lathe, experimental research, forecasting, support unit, path parameters of movements, hardware and software.

Важнейшим показателем металлорежущего станка является технологическая надежность, под которой подразумевают способность сохранять и обеспечивать заданные показатели качества обработанных изделий в течение заданного времени эксплуатации. Актуальность обеспечения высокой технологической надежности металлорежущих станков растет по мере повышения требований к качеству машиностроительной продукции, усложнению ее конструкций и условий производства.

Важным направлением совершенствования программного метода испытания является создание методического и информационного обеспечения диагностирования и прогнозирования технологической надежности станков по параметрам траекторий перемещения их формообразующих узлов, к которым относится суппортный узел (СУ) станка [1–5].

Цель работы — показать возможность разработки методического и информационного обеспечения диагностирования станков токарной группы по параметрам траекторий перемещения СУ, а также предложить комплекс аппаратно-программных средств для обеспечения исследований и прогнозирования технологической надежности станков токарной группы по этим параметрам.

Для экспериментальных исследований состояния токарных станков по параметрам траекторий перемещения СУ разработан мехатронный комплекс диагностических испытаний (МКДИ), блочно-модульная структура которого показана на рис. 1. К комплексу предъявлялись следующие требования: высокая чувствительность регистрации перемещений в их рабочем диапазоне как для продольного, так

и для поперечного суппортов станка (чувствительность не менее 0,1 мкм); обеспечение непрерывного контролируемого программного нагружения и непрерывной регистрации перемещений движущегося СУ; автоматизированная обработка и анализ информации о параметрах траекторий перемещения СУ в интерактивном режиме; универсальность и возможность легкой адаптации аппаратной части к конструктивным особенностям конкретного диагностируемого станка.

В данной работе не ставилась задача создания МКДИ, в полной мере соответствующего поставленным требованиям, поэтому в разработанной экспериментальной установке, представляющей собой действующий прототип МКДИ, указанные требования удовлетворены лишь частично. В перспективе должна быть обеспечена информационная и интеллектуальная поддержка при формировании диагностических заключений.

Диагностируемый станок находится в штатных условиях эксплуатации и не готовится специально для проведения исследования. Исполнительные элементы модулей программного нагружения и регистрации перемещения СУ закрепляют на диагностируемом станке, а аппаратура нагружения и регистрации перемещений расположена вне станка. Все остальные модули МКДИ представляют собой программные комплексы и входят в состав программного обеспечения компьютерного компонента МКДИ, реализованного на базе персонального компьютера. В предложенном прототипе МКДИ модуль управления специально не разрабатывался, управление осуществлялось непосредственно экспериментатором.

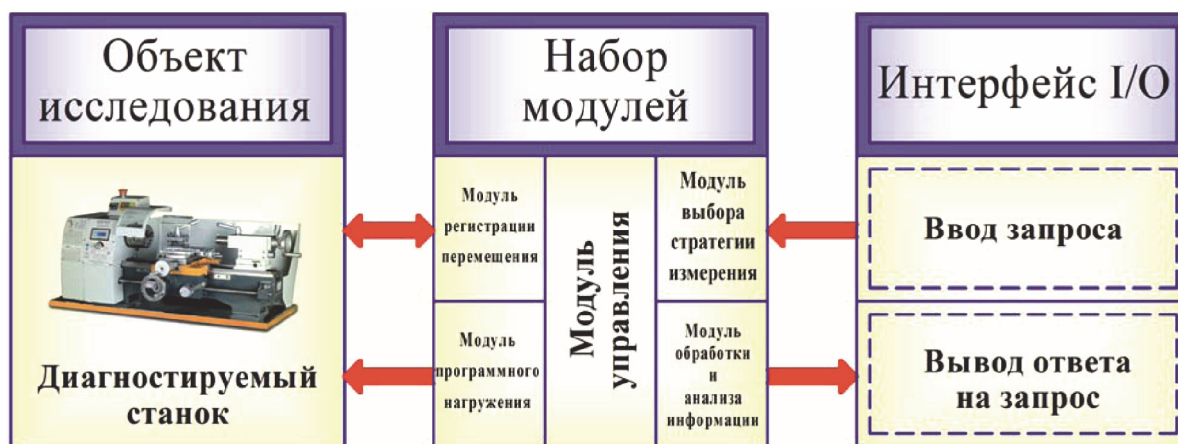


Рис. 1. Блочно-модульная структура МКДИ

В МКДИ через модуль программного нагружения, который является гидравлической системой [6–8], реализована схема гидравлического нагружения находящегося в движении СУ, в значительной мере соответствующая реальным условиям. Гидроцилиндр специальной конструкции закрепляют в резцедержателе суппорта аналогично державке резца. Для создания усилия в направлении оси Ox использован упор, также закрепленный в резцедержателе. При подаче рабочего тела под давлением в поршневую полость цилиндра происходит перемещение штока до контакта с упором, далее возникает нагружающее усилие, контролируемое с помощью протарированного по усилию манометра и регулируемое посредством дросселя (регулятора потока). При достижении заданного значения нагружающего усилия полость цилиндра перекрывается, что обеспечивает стабильность нагружения. После завершения эксперимента поршневую полость напрямую соединяют с гидробаком, происходит слив масла из поршневой полости. Возвратная пружина гидроцилиндра перемещает поршень в исходное положение. Предварительными экспериментами установлено, что колебание усилия нагружения составляет $\pm 2\%$

от номинального значения, что является вполне приемлемым.

Выбранная схема нагружения в перспективе обеспечит его полную автоматизацию и непрерывное управление, что необходимо для полноценной реализации программного метода испытаний.

При разработке модуля регистрации перемещений СУ была выбрана принципиальная схема опико-электронной регистрации его перемещений с использованием двухчастотного оптического квантового генератора (лазера), соответствующая указанным ранее требованиям [9–12].

На рис. 2 показана блок-схема определения фактических координат формообразующей точки движущегося суппорта токарного станка.

Излучение двухчастотного оптического квантового генератора после прохождения делителя разделяется в соответствии с каналами измерения Z и X . Отраженный от подвижного отражателя, установленного на магнитном основании в верхней части резцедержателя суппорта, луч поступает в неподвижно закрепленный интерферометр (Z, X), счетчики которого регистрируют число интерференционных максимумов. Соответствующие сигналы, пройдя

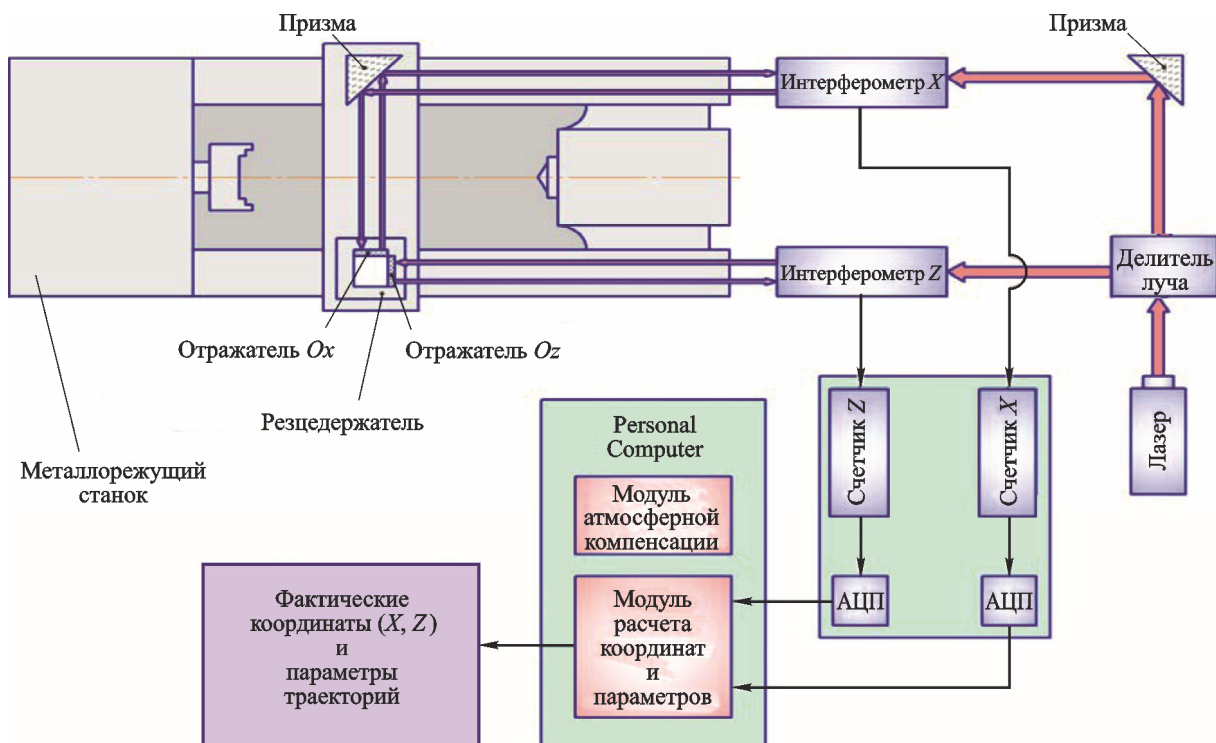


Рис. 2. Блок-схема определения фактических координат формообразующей точки движущегося суппорта токарного станка

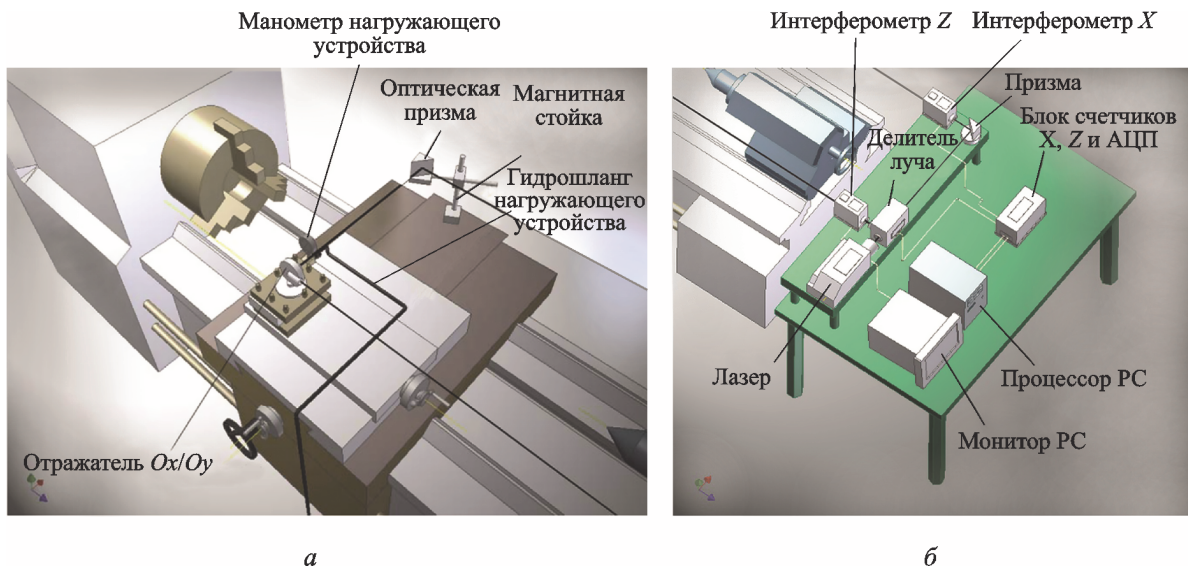


Рис. 3. Мехатронный комплекс диагностических испытаний:
 а — оптические элементы и нагружающее устройство, устанавливаемые на станке; б — оптическая и регистрирующая аппаратура

аналого-цифровой преобразователь (АЦП), воспринимаются модулем расчета координат, обеспечивающим определение фактических координат Z и X суппорта. На рис. 3 показан внешний вид оптических элементов нагружающего устройства, оптической и регистрирующей аппаратуры МКДИ, обеспечивающих контроль перемещений СУ при его движении.

Проблемно-ориентированное программное обеспечение компьютера МКДИ содержит модуль атмосферной компенсации, основной задачей которого является обеспечение стабильности работы лазерно-оптических компонентов комплекса и исключение влияния флуктуаций атмосферы на точность определения значений перемещений исследуемого объекта. Автоматическое вычисление компенсирующей поправки при изменении контролируемых параметров атмосферы (температуры и влажности воздуха, атмосферного давления) осуществлялось по методикам, приведенным в работах [13–15].

Элементный состав, структура и характеристики МКДИ позволяют проводить автоматизированную регистрацию и обработку информации о траектории перемещения СУ. Базовое программное обеспечение МКДИ обеспечивает мониторинг и обработку информации о траектории как в режиме реального времени, так и с разделением времени.

На рис. 4 показан вид окна-закладки «Исходные данные» для исследования траектории продольного перемещения СУ при имитации

процесса продольного точения. Движение СУ осуществляют и исследуют в плоскости XOZ, управляемой координатой является аппликата (Z), регистрируемыми — абсцисса X и фактическая аппликата. После ввода характеристик заданного перемещения (см. рис. 4) автоматически определялось число дискретных точек измерения n_T , которые использовались как контрольные при обработке траекторной информации

$$n_T = \frac{Z_{з.к} - Z_{з.н}}{\Delta Z} + 1,$$

где $Z_{з.к}$, $Z_{з.н}$ — аппликаты заданного конца и начала регистрируемой траектории соответственно; ΔZ — погрешность управляемого перемещения.

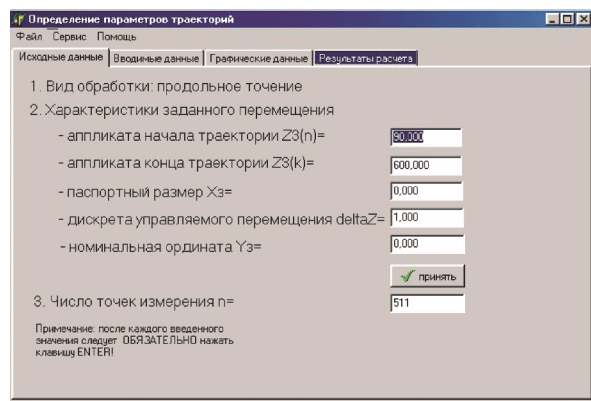


Рис. 4. Окно управления формированием траектории «Исходные данные»

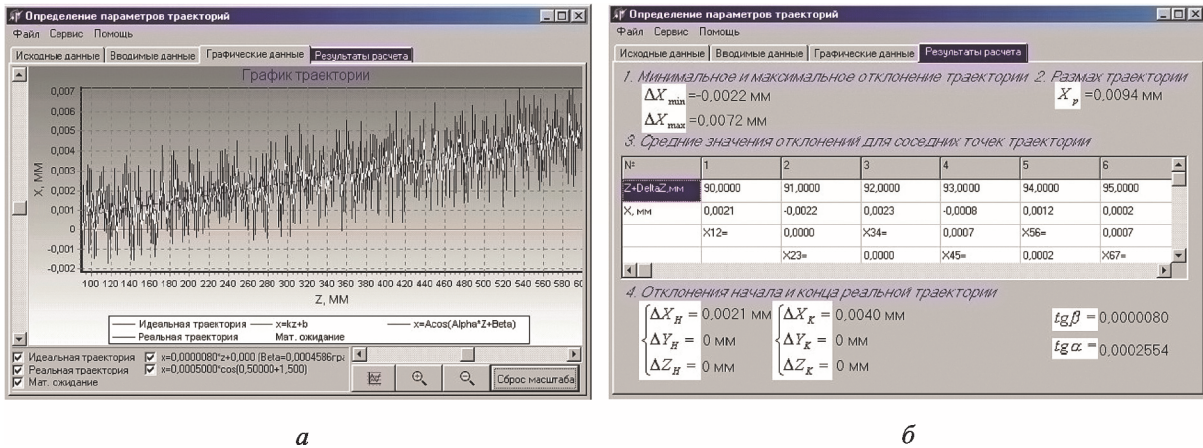


Рис. 5. Окна-закладки:
а — «Графические данные»; б — «Результаты расчета»

Управление процессом формирования траектории перемещения осуществляют с помощью соответствующего окна. Индикатор отображает в процентах оценку готовности информации о траектории перемещения СУ к последующей обработке. После получения в поле «Состояние» информационного сообщения «Траектория сформирована» систему переводят нажатием клавиши «Определение параметров» в режим расчета координат и параметров сформированной траектории.

Результаты первичной обработки информации, вид реальной траектории, кривая зависимости математического ожидания значения X от управляемой координаты Z и аппроксимирующая прямая траектории отображаются в окне-закладке «Графические данные» (рис. 5, а).

Результаты расчета параметров траекторий перемещения СУ отображаются в одноименном окне-закладке (рис. 5, б). Программное обеспечение предусматривает сохранение и загрузку данных с использованием DVD/USB Flash, а также при необходимости (например, для статистической обработки данных) экспорт данных к другим программным компонентам.

Тестирование программного обеспечения выполняли как в автономном режиме, так и при работе в составе МКДИ.

Выводы

1. Диагностирование токарных станков по параметрам траекторий перемещения СУ можно проводить с помощью разработанного оптико-электронного мехатронного комплекса диагностических испытаний.
2. Оптико-электронная регистрация перемещений движущегося СУ в принципе соответствует условиям диагностирования станков, но требует исключения влияния флуктуаций атмосферы, что достигается включением в состав программного обеспечения МКДИ модуля атмосферной компенсации.
3. Определение параметров траектории перемещения СУ и управление ее формированием в режиме реального времени требуют автоматизации и реализуются программным модулем, обеспечивающим выполнение расчетов и представление информации о параметрах траекторий в необходимых пользователю формах.

Литература

- [1] Васильев Г.Н., Ягопольский А.Г. Обеспечение технологической надежности токарных станков мониторингом параметров траекторий перемещения суппортных узлов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2010, № 2, с. 91–105.
- [2] Комшин А.С., Обухов И.В., Сырицкий А.Б. О возможности оценки постоянной составляющей систематической погрешности средств измерений посредством обработки результатов измерений. *Приборы*, 2016, № 2, с. 24–29.
- [3] Васильев Г.Н., Ягопольский А.Г., Тремасов А.П. Проблемы диагностики и обеспечения надежности металлорежущих станков. *СТИН*, 2003, № 7, с. 14–17.

- [4] Ягопольский А.Г., Крикунов Д.Э. Анализ коррекции тепловых деформаций в станках. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2014, № 5 (98), с. 98–105.
- [5] Комшин А.С., Сырицкий А.Б. Измерительно-вычислительные технологии эксплуатации металлорежущего оборудования и инструмента. *Мир измерений*, 2014, № 12, с. 3–9.
- [6] Никитин О.Ф. *Гидравлика и гидронепвод*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 430 с.
- [7] Моргунов К.П. *Гидравлика, гидравлические машины, гидропривод*. Санкт-Петербург, Санкт-Петербург. гос. ун-т водных коммуникаций, 2009. 545 с.
- [8] Law M., Wabner M., Colditz A., Kolouch M., Noack S., Ihlenfeldt S. *Active vibration isolation of machine tools using an electro-hydraulic actuator*. Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology IWU, Department of Machine Tools and Automation, Germany, 2015, vol. 10, pp. 36–48.
- [9] Никулин Ю.В., Ягопольский А.Г. Место измерительных преобразователей промышленного типа в диагностической аппаратуре контроля динамических процессов станка. *Инженерно-физические проблемы новой техники. Тез. докл. 6-го Всероссийского совещания-семинара*, Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001, с. 168–169.
- [10] Ягопольский А.Г., Ткаченко Я.В. Использование автоматизированных испытаний для повышения технологического уровня станков. *Состояние и проблемы измерений. Тез. докл. 8-й Всерос. науч.-техн. конф.*, Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, с. 82–83.
- [11] Ягопольский А.Г., Зыков А.В. Автоматизация системы обработки данных (СОД) датчиков станка для диагностики движения формообразующих узлов. *Состояние и проблемы измерений. Тез. докл. 8-й Всерос. науч.-техн. конф.*, Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, с. 84–85.
- [12] Ягопольский А.Г., Тремасов А.П. Современные методы диагностики и контроля для обеспечения технологической надежности станков. *Состояние и проблемы измерений. Тез. докл. 8-й Всерос. науч.-техн. конф.*, Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, с. 86–87.
- [13] Weck M. *Werkzeugmaschinen. Band. 5. Messtechnische Untersuchungen und Beurteilungen*. Berlin, Heinderberg, Springer-Verlag, 2001. 160 s.
- [14] Weck M., Jahn D., Hoymann H., Lescher M. *Mobile service applications for machine tools. Virtual and Augmented reality applications in manufacturing*. Berlin, Springer, 2004, pp. 97–103.
- [15] Weck M., Jahn D., Kurth A., Peters A. Components based control software for distributed manufacturing. *In Proceedings of 2000 JUSFA*, Berlin, Springer, 2000, pp. 86–97.

References

- [1] Vasil'ev G.N., Iagopol'skii A.G. Obespechenie tekhnologicheskoi nadezhnosti tokarnykh stankov monitoringom parametrov traektorii peremeshcheniia supportnykh uzlov [Provision of Technological Reliability of Turning Lathes by Monitoring of Parameters of Trajectories of Support-Group Movements]. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering]. 2010, no. 2, pp. 91–105.
- [2] Komshin A.S., Obukhov I.V., Siritzky A.B. O vozmozhnosti otsenki postoiannoii sostavliaiushchei sistemicheskoi pogreshnosti sredstv izmerenii posredstvom obrabotki rezul'tatov izmerenii [About possibility of systematic error estimation of measurement devices by measurement results processing]. *Pribory* [Instruments]. 2016, no. 2, pp. 24–29.
- [3] Vasil'ev G.N., Iagopol'skii A.G., Tremasov A.P. Problemy diagnostiki i obespecheniia nadezhnosti metallorzhushchikh stankov [Problems of diagnostics and reliability of machine tools]. *STIN* [Russian Engineering Research]. 2003, no. 7, pp. 14–17.
- [4] Iagopol'skii A.G., Krikunov D.E. Analiz korrektsii teplovykh deformatsii v stankakh [Analysis of Correction of Thermal Deformation in Machine Tools]. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering], 2014, no. 5 (98), pp. 98–105.
- [5] Komshin A.S., Syritskii A.B. Izmeritel'no-vychislitel'nye tekhnologii ekspluatatsii metallorzhushchego oborudovaniia i instrumenta [Measuring and computing technology oper-

- ating metal-cutting equipment and tools]. *Mir izmerenii* [Measurement World]. 2014, no. 12, pp. 3–9.
- [6] Nikitin O. F. *Gidravlika i gidropnevmoпривод* [Hydraulics and Hydro-pneumatic]. Moscow, Bauman Press, 2012. 430 p.
- [7] Morgunov K. P. *Gidravlika, gidravlicheskie mashiny, gidропривод* [Hydraulics and hydraulic machines, hydraulic]. Sankt-Peterburg, St. Petersburg SUWC publ., 2009. 545 p.
- [8] Law M., Wabner M., Colditz A., Kolouch M., Noack S., Ihlenfeldt S. Active vibration isolation of machine tools using an electro-hydraulic actuator. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2015, vol. 10, pp. 36–48.
- [9] Nikulin Iu.V., Iagopol'skii A.G. Mesto izmeritel'nykh preobrazovatelei promyshlennogo tipa v diagnosticheskoi apparature kontroliia dinamichestkikh protsessov stanka [Position transducers in industrial-type diagnostic equipment monitoring dynamic processes of the machine]. *Inzhenerno-fizicheskie problemy novoi tekhniki: tez. dokl. 6-go Vserossiiskogo soveshchaniia-seminara* [Engineering and physical challenges of new technology: abstracts of the 6th National Conference-Workshop]. Moscow, Bauman Press, 2001, pp. 168–169.
- [10] Iagopol'skii A.G., Tkachenko Ia.V. Ispol'zovanie avtomatizirovannykh ispytaniia dlia povsheniia tekhnologicheskogo urovnia stankov [Use of automated testing to improve the technological level of the machines]. *Sostoianie i problemy izmerenii: tez. dokl. 8-i Vserossiiskoi nauchn.-tekhn. konf.* [Status and measurement problems: abstracts of the 8th All-Russian Scientific and Technical Conference]. Moscow, Bauman Press, 2002, pp. 82–83.
- [11] Iagopol'skii A.G., Zykov A.V. Avtomatizatsiia sistemy obrabotki dannykh (SOD) datchikov stanka dlia diagnostiki dvizheniia formoobrazuiushchikh uzlov [Automation of the data processing system (SOD) for the diagnosis of machine motion detectors formative components]. *Sostoianie i problemy izmerenii: tez. dokl. 8-i Vserossiiskoi nauchn.-tekhn. konf.* [Status and measurement problems: abstracts of the 8th All-Russian Scientific and Technical Conference]. Moscow, Bauman Press, 2002, pp. 84–85.
- [12] Iagopol'skii A.G., Tremasov A.P. Sovremennye metody diagnostiki i kontroliia dlia obespecheniia tekhnologicheskoi nadezhnosti stankov [Modern methods of diagnosis and control to ensure the technological reliability of machines]. *Sostoianie i problemy izmerenii: tez. dokl. 8-i Vserossiiskoi nauchn.-tekhn. konf.* [Status and measurement problems: abstracts of the 8th All-Russian Scientific and Technical Conference]. Moscow, Bauman Press, 2002, pp. 86–87.
- [13] Weck M. *Werkzeugmaschinen. Band. 5. Messtechnische Untersuchungen und Beurteilungen* [Machine tools. vol. 5. Metrological examinations and assessments]. Berlin, Heinderberg, Springer-Verlag, 2001. 160 p.
- [14] Weck M., Jahn D., Hoymann H., Lescher M. *Mobile service applications for machine tools. Virtual and Augmented reality applications in manufacturing*. Berlin, Springer, 2004, pp. 97–103.
- [15] Weck M., Jahn D., Kurth A., Peters A. *Components based control software for distributed manufacturing. In Proceedings of 2000 JUSFA*, Berlin, Springer, 2000, pp. 86–97.

Статья поступила в редакцию 30.12.2015

Информация об авторах

ЯГОПОЛЬСКИЙ Александр Геннадиевич (Москва) — старший преподаватель кафедры «Металлорежущие станки». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

КРОПОТИН Николай Юрьевич (Москва) — инженер второй категории кафедры «Металлорежущие станки». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1 e-mail: elessar.vtx@gmail.com).

Information about the authors

YAGOPOLSKIY Aleksandr Gennadievich (Moscow) — Senior Lecturer, Department of Metal-Cutting Machines. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1).

KROPOTIN Nikolai Yurievich (Moscow) — Engineer, Department of Metal Cutting Machine Tools. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: elessar.vtx@gmail.com).