

**М. В. Бобырь**, д-р техн. наук, проф., fregat\_mn@rambler.ru,  
**С. А. Кулабухов**, аспирант, kulabuhov.sergei@yandex.ru,  
**А. С. Якушев**, магистрант, alekseyakushev@yandex.ru,  
Юго-Западный государственный университет, Курск

## Автономная система охлаждения режущего инструмента в задаче управления оборудованием с ЧПУ. Часть I\*

*Представлена аппаратно-программная реализация трехосевого фрезерного станка с ЧПУ с автономной системой охлаждения режущего инструмента. Описаны электронные и механические компоненты данной системы. Также представлены электрические схемы соединения компонентов станка и автономной системы охлаждения. Для увеличения производительности станка предложен метод охлаждения режущего инструмента с помощью элемента Пельтье.*

**Ключевые слова:** станок с ЧПУ, автономная охлаждающая система, элемент Пельтье, датчики температуры

### Введение

Быстрый рост технического прогресса формирует новые требования к обрабатывающим центрам и станкам с ЧПУ. Потребность в увеличении точности возникает из-за усложнения задач, решаемых с помощью станков с ЧПУ. Кроме повышения точности возникает необходимость снижения затрат на режущий инструмент, что увеличивает экономический эффект, получаемый от станка.

Для продления срока службы обрабатывающего инструмента и увеличения производительности станка используются различные системы охлаждения. В настоящее время применяются несколько типов охлаждения: воздушное охлаждение и сма-

зочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). При обработке заготовок из металла возможно использовать любой из способов охлаждения. В случае деревообработки применение СОЖ невозможно из-за физических свойств древесины.

Авторами для охлаждения режущего инструмента, используемого в трехосевых станках с ЧПУ, разработана автономная система с термоэлементом, основанная на физическом эффекте Пельтье.

### Структура трехосевого фрезерного станка с ЧПУ

Автономная система охлаждения режущего инструмента для трехосевого фрезерного станка с ЧПУ состоит из микроконтроллера Arduino Mega 2560,

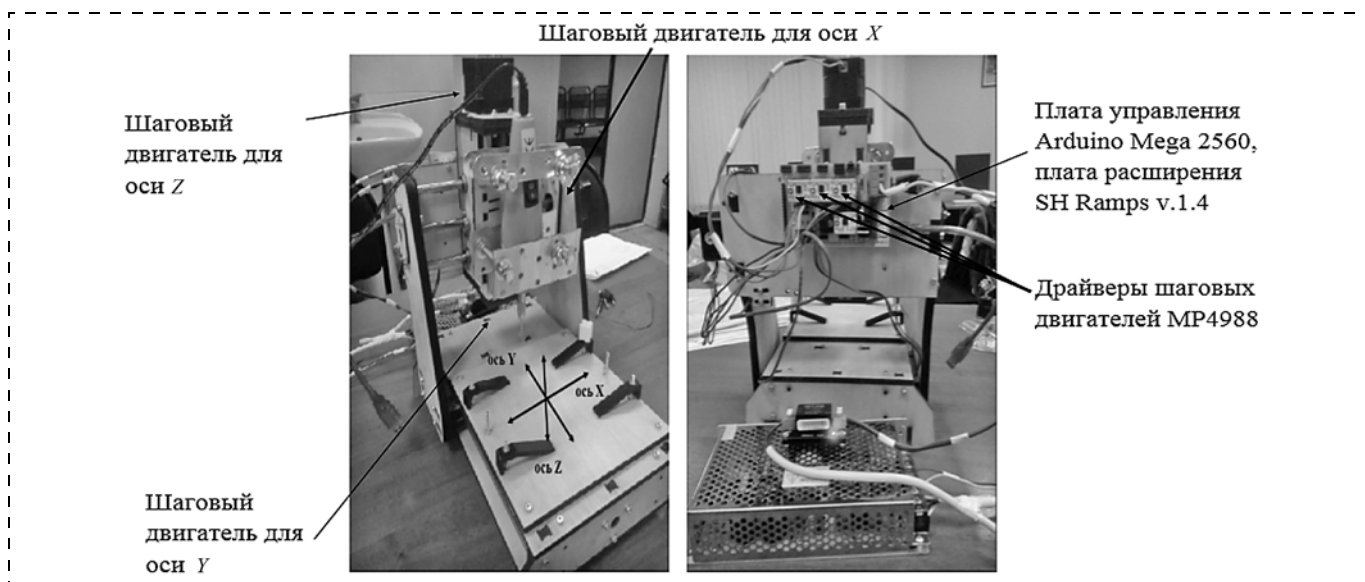


Рис. 1. Трехосевой фрезерный станок с ЧПУ

\* Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-707.2017.8 и Госзадания: Соглашение № 2.3440.2017/ПЧ.

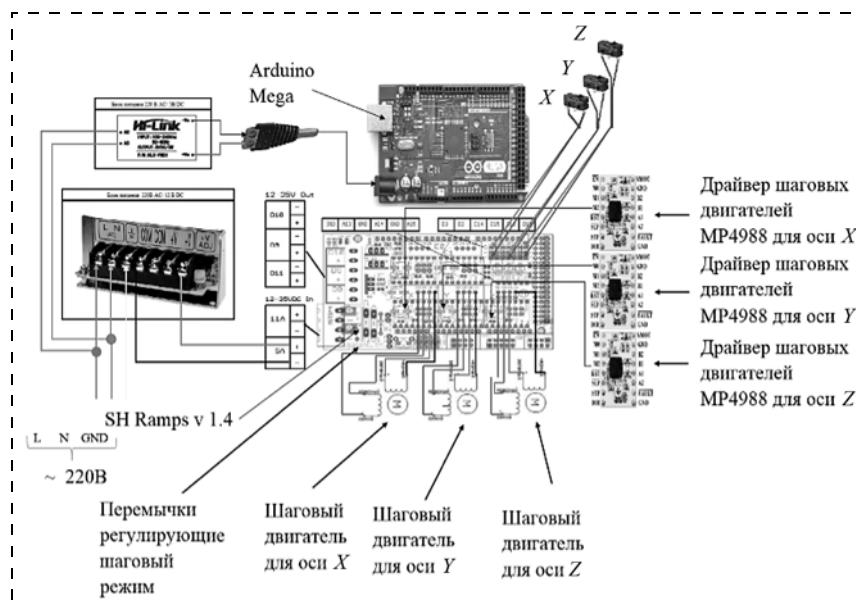


Рис. 2. Электрическая схема трехосевого фрезерного станка с ЧПУ

платы управления шаговыми двигателями Arduino Mega SH Ramps v.1.4, блока питания 12 В постоянного напряжения, трех плат для управления шаговыми двигателями MP4988, трех шаговых двигателей с шагом  $1,8^\circ$ , трех трап-валов, микропереключателей для ограничения движений суппортов станка по каждой из осей, мини-дрели с фрезерными, гравировальными и шлифующими насадками, линейных направляющих, радиальных и линейных подшипников, держателей заготовки и рабочего стола [1–3].

На рис. 1 представлена экспериментальная модель трехосевого фрезерного станка с ЧПУ. Электрическая схема подключения и соединения компонентов трехосевого фрезерного станка с ЧПУ представлена на рис. 2. Плата управления шаговыми двигателями SH Ramps устанавливается сверху на микроконтроллер Arduino Mega 2560. Драйверы двигателей закрепляются на плате SH Ramps в специально отведенные места для данных драйверов [4].

### Точность трехосевого фрезерного станка с ЧПУ

Данный станок имеет три шаговых двигателя, по одному двигателю на каждую из осей. Для управления скоростью шаговых двигателей используется плата SH Ramps v.1.4 с устанавливаемыми на ней драйверами двигателей MP4988 [5–7].

На рис. 3 представлена экспериментальная схема подключения шагового биполярного двигателя постоянного тока к драйверу двигателей. В качестве платы управления для тестирования шаговых двигателей использовался микроконтроллер Arduino Uno.

Расчет шага двигателя необходим для выбора точности и скорости обработки детали, а также для реализации программного кода управления станком с ЧПУ. Для расчета числа импульсов  $n$ , необходи-

мых для поворота шпинделя биполярного двигателя на один полный оборот, необходимо  $360^\circ$  разделить на угловой шаг, равный  $1,8^\circ$ :

$$n = 360^\circ / 1,8^\circ = 200.$$

Таким образом, для вращения на один полный оборот шпинделя шагового двигателя необходимо с помощью программного кода подать 200 импульсов.

При изменении шага двигателя меняется и число шагов за один полный оборот. В случае работы в режиме полушага для вращения на  $360^\circ$  необходимо подать 400 импульсов [10, 11].

Рассчитав число импульсов, необходимых для полного оборота шпинделя биполярного двигателя, необходимо определить перемещение по винтовому трап-валу за один оборот. Шаг резьбы у трап-вала состав-

ляет 2 мм, т.е. суппорт станка за полный оборот переместится на 2 мм (рис. 4).

В программном коде для прямолинейного перемещения суппорта по трап-валу в цикле for переменная  $i$ , задающая число переданных на биполярный двигатель импульсов, меняется от 0 до 1000. Таким образом, при  $i = 1000$  суппорт станка переместится на 5 мм при переключении переключателя на размер полного шага. Скорость перемещения каретки станка за-

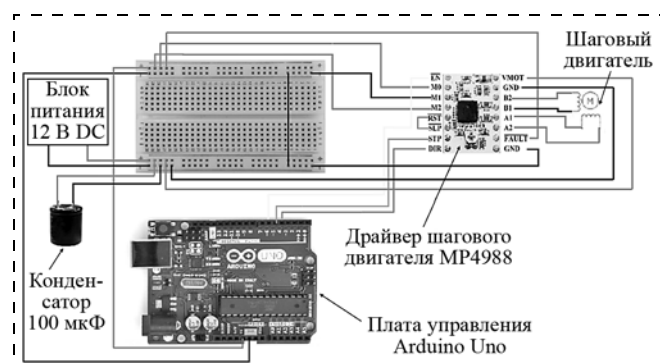


Рис. 3. Электрическая схема подключения биполярного двигателя к драйверу шагового двигателя MP4988 и к плате Arduino Uno

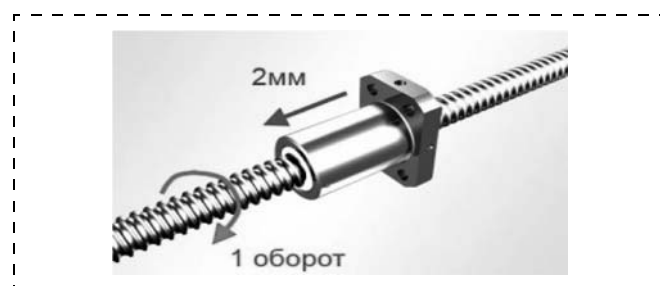


Рис. 4. Перемещение гайки суппорта станка по трап-валу

висит от функции `delayMicroseconds(500)`. При увеличении числового значения в этой функции скорость перемещения каретки увеличивается, и наоборот.

### Автономная система охлаждения режущего инструмента станка с ЧПУ

Для расширения функциональных возможностей фрезерного станка с ЧПУ и продления срока службы режущего инструмента авторами предложено применять термоэлементы, использующие эффект Пельтье. В элементах Пельтье при прохождении прямого тока с одной стороны выделяется тепло, с другой стороны — холод. Холодная сторона используется для охлаждения режущего инструмента в зоне резания [12, 13].

В дополнение к вентилятору, охлаждающему сторону, выделяющую тепло, на элементе Пельтье в схему автономной системы охлаждения монтируются два датчика температуры, отслеживающие температуру возле режущего инструмента и температуру на теплой стороне элемента Пельтье. Наличие двух термодатчиков позволяет использовать автономную систему охлаждения режущего инструмента как в постоянном режиме, так и в режиме включения при необходимости охлаждения. При использовании второго режима (периодического режима) рациональнее расходуется электроэнергия. По снимаемым показаниям с датчиков температуры программно регулируется скорость вращения вентилятора. В случае увеличения температуры на теплой стороне элемента Пельтье или возле режущего инструмента необходимо увеличить скорость вращения вентилятора с целью предотвратить перегрев элемента Пельтье или режущего инструмента. Помимо увеличения скорости вращения вентилятора необходимо повысить ток, передаваемый на элемент Пельтье, который увеличивает интенсивность поступления холода от термоэлемента. На рис. 5 изображена схема подключения элементов автономной системы охлаждения режущего инструмента станка с ЧПУ [14–16].

Для определения температур используются два датчика температуры LM335 и TMP36GZ [17, 18].

Для расчета температуры в градусах датчиком LM335 необходимо снять напряжение на аналоговом входе с помощью функции `analogRead`. Данная функция возвращает значения от 0 до 1023, и их необходимо преобразовать в напряжение по формуле

$$val = \text{analogRead}(A0);$$

$$U = val \cdot 5 / 1024,$$

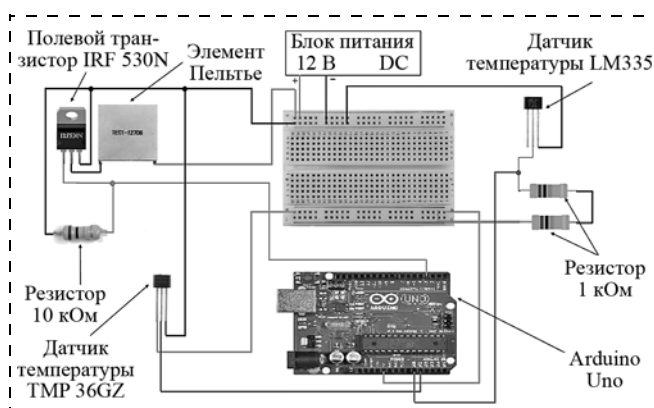


Рис. 5. Электрическая схема автономной системы охлаждения режущего инструмента

где  $U$  — преобразованное напряжение;  $val$  — величина, получаемая от информационного аналогового входа  $A0$  с помощью функции `analogRead(A0)`.

Для перевода полученного напряжения в градусы Цельсия используется формула

$$t^{\circ} = U \cdot 100 - 273,15.$$

Для расчета температуры в градусах датчиком TMP36GZ необходимо так же, как и в случае с датчиком LM335, снять напряжение на аналоговом входе  $A1$  с помощью функции `analogRead(A1)`:

$$val_1 = \text{analogRead}(A1);$$

$$U_1 = (val_1 / 1024,0) \cdot 5,0,$$

где  $U_1$  — преобразованное напряжение;  $val_1$  — величина, получаемая от функции `analogRead(A1)`.

Далее полученное значение необходимо перевести в градусы Цельсия по формуле

$$t^{\circ} = (U_1 - 0,5) / 100.$$

### Экспериментальное исследование

Экспериментальная модель автономной системы охлаждения режущего инструмента на трехосевом фрезерном станке с ЧПУ на базе микроконтроллера Arduino Uno показана на рис. 6.

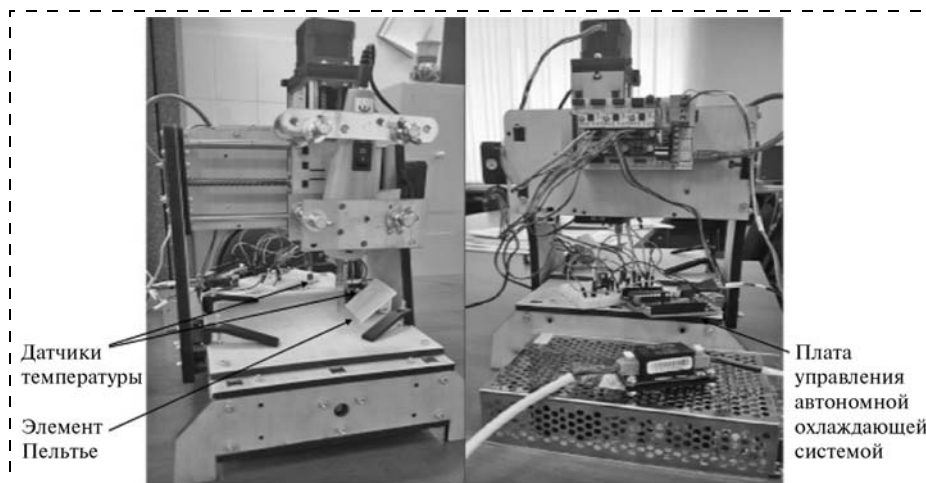


Рис. 6. Автономная система охлаждения режущего инструмента на станке с ЧПУ



Рис. 7. Изменение силы тока при работе шагового двигателя

Во время экспериментальных пусков двигателей при постоянном напряжении 12 В были изменены значения силы тока при старте, движении вперед/назад и реверсе. Были получены следующие значения токов:

$$I_{\text{старт}} = 260...280 \text{ (мА)};$$

$$I_{\text{вперед/назад}} = 130...160 \text{ (мА)};$$

$$I_{\text{реверс}} = 410...430 \text{ (мА)}.$$

На рис. 7 показан график изменения силы тока при старте, движении вперед или назад, реверсе шагового двигателя.

График, представленный на рис. 7, в дальнейшем позволит программно учитывать особенности работы биполярного двигателя за счет регулировки задержки времени. Во второй части статьи будут рассмотрены вопросы, связанные с разработкой нечеткой системы, используемой для регулирования скорости охлаждения режущего инструмента.

### Заключение

Основная проблема при работе станков с режущим инструментом — это достижение точности и качества обработки деталей. Решение данной проблемы при обработке древесины на станках с ЧПУ возможно за счет установки автономной системы охлаждения режущего инструмента. Практические опыты показали, что установка на станок данной системы увеличивает производительность станка с ЧПУ, а также продлевает срок службы режущего инструмента, снижая финансовые и временные затраты на контроль и заточку режущей кромки обрабатываемого инструмента.

Снятие показаний силы тока при различных режимах работы шагового двигателя позволяет программно учитывать особенности работы биполярного двигателя за счет регулировки задержки времени.

1. Бобырь М. В., Емельянов С. Г., Милостная Н. А. О некоторых свойствах моделирования адаптивных нейро-нечетких систем на основе упрощенного нечетко-логического вывода // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2014. Т. 12, № 5. С. 4—12.
2. Бобырь М. В. Влияние числа правил на обучение нечетко-логической системы // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 11 (125). С. 28—35.
3. Бобырь М. В., Кулабухов С. А., Титов Д. В. Оценка влияния числа обучаемых точек на аддитивность нечетких систем // Промышленные АСУ и контроллеры. 2014. № 10. С. 30—35.
4. Бобырь М. В. Адаптация системы управления мобильным роботом на основе нечеткой логики // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16, № 7. С. 449—455.
5. Бобырь М. В., Милостная Н. А. Нечеткая модель интеллектуальной системы управления мобильным роботом // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2015. № 3. С. 57—67.
6. Бобырь М. В., Кулабухов С. А. Дефазификация вывода из базы нечетких правил на основе метода разности площадей // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 9 (135). С. 32—41.
7. Бобырь М. В., Милостная Н. А. Анализ использования мягких арифметических операций в структуре нечетко-логического вывода // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 7. С. 7—15.
8. Бобырь М. В., Кулабухов С. А., Милостная Н. А. Обучение нейро-нечеткой системы на основе метода разности площадей // Искусственный интеллект и принятие решений. 2016. № 4. С. 15—26.
9. Бобырь М. В., Титов В. С., Милостная Н. А. Прогнозирование работы мехатронных систем на основе мягких нечетких баз знаний. Часть 1. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 10. С. 8—14.
10. Седова Н. А., Седов В. А. Методы оценки качества полученных решений // Южно-Сибирский научный вестник. 2012. № 1. С. 88—91.
11. Голубкин И. А., Щербатов И. А. Универсальная сенсорная подсистема мобильного колесного робота // Датчики и системы. 2010. № 8. С. 32—35.
12. Круглова Т. Н. Интеллектуальный метод диагностирования и прогнозирования технического состояния мехатронных комплексов, эксплуатируемых в экстремальных условиях // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 3. С. 47—51.
13. Круглова Т. Н. Применение аппарата нечеткой логики и нейронных сетей для управления техническим состоянием модулей движения технологического оборудования // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 8. С. 28—35.
14. Чикуров Н. Г. Управление движением инструмента на пятикоординатных станках с ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 6. С. 37—43.
15. Евстафьева С. В., Молодцов В. В. Моделирование следающего привода подачи современных станков с ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 9. С. 37—44.
16. Кузовкин В. А., Филатов В. В., Чумаева М. В. Моделирование процессов управления бесконтактным двигателем постоянного тока // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 11. С. 49—55.
17. Hui Liu, En Ming Miao, Xin Yuan Wci, Xin Dong Zhuang. Robustness modeling method for thermal error of CNC machine tools based on ridge regression algorithm // International journal of machine tools and manufacture. 2016. Vol. 113. P. 35—48.
18. Емельянов С. Г., Титов В. С., Бобырь М. В. Интеллектуальные системы на основе нечеткой логики и мягких арифметических операций: учеб. пособ. М.: АРГАМАК-МЕДИА, 2014. 341 с.

# Autonomous Cooling System for a Cutting Tool in the Task of Operation of CNC Equipment. Part I

**M. V. Bobyr**, fregat\_mn@rambler.ru✉, **S. A. Kulabuhov**, kulabuhov.sergei@yandex.ru,  
**A. S. Yakushev**, alekseyyakushev@yandex.ru,  
South-West State University, Kursk, 305040, Russian Federation

Corresponding author: **Bobyr Maksim V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
South-West State University, Kursk, 305040, Russian Federation,  
e-mail: fregat\_mn@rambler.ru

Received on January 30, 2017

Accepted on April 07, 2017

*This article presents a hardware-software implementation of a 3-axial milling machine with CNC and autonomous system of cooling of the cutting tool, and describes the electronic and mechanical components of this system. They include control boards of Arduino Mega and Arduino Uno, a control board for SH Ramps stepping motors, control boards for MP4988 stepping motors, stepping bipolar motors, fixture, conical and radial bearings, bonding wires and power supply units, and also the milling head (the engraver or a mini-drill) with a set of mills. Calculation of the number of pulses, necessary for rotation of the bipolar engine to the necessary degree, and also calculation of the relocation of a nut of support on a ladder are shown for one whole revolution. Electric circuits for connection of the components of the machine and the autonomous cooling system are also provided, as well as a program code for control of the relocation of the bipolar stepping motor and a formula of the tension transfer from the temperature sensors in Celsius degrees. For increasing the productivity of the machine the method of cooling of a cutting tool by means of Peltier element is offered. Cooling is carried out due to the temperature control in the cutting zone by a thermal sensor. Currents of the bipolar stepping motor are measured in operation during the starts, reverse action, constant turns and stops.*

**Keywords:** machine with CNC, autonomous cooling system, Peltier element, temperature sensors

**Acknowledgements:** The work was done with support of MD-707.2017.8 Grant of the RF President and state assignment: Agreement No. 2.3440.2017/PCH.

For citation:

**Bobyr M. V., Kulabuhov S. A., Yakushev A. S.** Autonomous Cooling System for a Cutting Tool in the Task of Operation of CNC Equipment. Part I, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2017, vol. 18, no. 7, pp. 469–473.

DOI: 10.17587/mau.18.469-473

## References

1. **Bobyr M. V., Emel'janov S. G., Milostnaja N. A.** *Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushhie sistemy*, 2014, vol. 12, no. 5, pp. 4–12 (in Russian).
2. **Bobyr M. V.** *Vestnik Komp'yuternyh i Informacionnyh Tehnologij*, 2014, no. 11 (125), pp. 28–35 (in Russian).
3. **Bobyr M. V., Kulabuhov S. A., Titov D. V.** *Promyshlennyye ASU i Kontrollery*, 2014, no. 10, pp. 30–35 (in Russian).
4. **Bobyr M. V.** *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 7, pp. 449–455 (in Russian).
5. **Bobyr M. V., Milostnaja N. A.** *Problemy Mashinostroenija i Avtomatizacii*, 2015, no. 3, pp. 57–67 (in Russian).
6. **Bobyr M. V., Kulabuhov S. A.** *Vestnik Komp'yuternyh i Informacionnyh Tehnologij*, 2015, no. 9 (135), pp. 32–41 (in Russian).
7. **Bobyr M. V., Milostnaja N. A.** *Vestnik Komp'yuternyh i Informacionnyh Tehnologij*, 2015, no. 7, pp. 7–15 (in Russian).
8. **Bobyr M. V., Kulabuhov S. A., Milostnaja N. A.** *Iskusstvennyj Intellekt i Prinjatje Reshenij*, 2016, no. 4, pp. 15–26 (in Russian).
9. **Bobyr M. V., Titov V. S., Milostnaja N. A.** *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2014, no. 10, pp. 8–14 (in Russian).
10. **Sedova N. A., Sedov V. A.** *Juzhno-Sibirskij Nauchnyj Vestnik*, 2012, no. 1, pp. 88–91 (in Russian).
11. **Golubkin I. A., Shherbatov I. A.** *Datchiki i Sistemy*, 2010, no. 8, pp. 32–35 (in Russian).
12. **Kruglova T. N.** *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2011, no. 3, pp. 47–51 (in Russian).
13. **Kruglova T. N.** *Vestnik Komp'yuternyh i Informacionnyh Tehnologij*, 2010, no. 8, pp. 28–35 (in Russian).
14. **Chikurov N. G.** *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2014, no. 6, pp. 37–43 (in Russian).
15. **Evstafieva S. V., Molodcov V. V.** *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2010, no. 9, pp. 37–44 (in Russian).
16. **Kuzovkin V. A., Filatov V. V., Chumaeva M. V.** *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2012, no. 11, pp. 49–55 (in Russian).
17. **Hui Liu, En Ming Miao, Xin Yuan Wci, Xin Dong Zhuang.** *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2016, vol. 113, pp. 35–48 (in Russian).
18. **Emelyanov S. G., Titov V. S., Bobyr M. V.** *Intellektual'nye sistemy na osnove nechetkoi logiki i myagkikh arifmeticheskikh operatsii* (Intelligent systems based on fuzzy logic and soft arithmetic), Moscow, ARGAMAK MEDIA, 2014, 341 p. (in Russian).