

Разработка расширенного интерфейса оператора системы ЧПУ с применением Web-технологий и дополненной реальности

Мартинов Г.М.

Кафедра компьютерных систем управления
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
Москва, Россия
martinov@ncsystems.ru

Ковалев И.А.

Кафедра компьютерных систем управления
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
Москва, Россия
ilkovalev@mail.ru

Червоннова Н.Ю.

Кафедра компьютерных систем управления
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
Москва, Россия
4ervonnova@list.ru

Abstract — The article discusses the research and development to obtain the necessary information at the current time on the work of technological equipment. It is shown that the existing interfaces of the operators of different CNC systems are designed to display information depending on the operation mode, and such interfaces may vary significantly depending on the manufacturer. Existing approaches to configuring technology screens do not have the flexibility of customization and are aimed at advanced users. The information on the terminal screens of CNC systems may be either redundant or insufficient. It offers a method based on a Web-server, developed using Nginx, Redis, Ruby on Rails framework. This approach removes the attachment to a specific technological unit and provides data transmission to mobile devices and augmented reality (AR) tools combined into a single information network with technological equipment. The use of a Web server allows you to adapt the output of information to devices with different sizes and screen resolutions. The data transfer using a web server to AR devices for visualization of technological processes is illustrated to reduce the level of dangerous situations and avoid collisions.

Ключевые слова — Индустрия 4.0, сбор данных, ЧПУ, ПЛК, Web-сервер, НМИ, дополненная реальность

I. ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день на современных предприятиях для управления различным технологическим оборудованием и решения задач автоматизации технологических процессов зачастую используются разнообразные решения от различных производителей (системы ЧПУ, ПЛК, роботы и т.д.), что обуславливается множеством факторов, в том числе и экономической составляющей. Использование такого подхода может усложнять создание единой информационной сети предприятия, т.к. каждый производитель системы управления зачастую использует собственные проприетарные решения доступа к данным своих систем. При этом существует тенденция создания «умных» производств для реализации концепции «Индустрия 4.0». Объединение гетерогенного оборудования различных производителей в единую сеть позволит оперативно получать информацию о работе станочных, робототехнических и других линий, своевременно передавать информацию на верхние уровни управления производством (ERP, MES). Основное отличие разрабатываемого программного решения состоит в том,

что за счет принципов кроссплатформенности и мультипротокольности, сбор данных может производиться с разнородного оборудования, использующих различные промышленные протоколы связи и т.д. [1].

С каждым годом происходит усложнение технологического оборудования и производимых процессов, совершенствование процессов обработки, диагностики, повышение требований к безопасности на производстве. Все это приводит к значительному увеличению объемов информации, которую необходимо получать и анализировать в ходе работы, и соответственно, к повышенным требованиям к квалификации сотрудников. Усложняются задачи реализации человеко-машинного взаимодействия, от которых также зависит эффективность производства в целом и обеспечение безопасности при работе.

На текущем этапе развития на производствах всё больше внимание уделяется внедрению в производственные процессы смарт-устройств, таких как планшетные компьютеры, мобильные телефоны. Однако при этом наблюдаются определенные проблемы, связанные с отсутствием способов представления больших объемов информации, их систематизации, а также подходов, обеспечивающих передачу оператору только той информации, которая является наиболее важной и необходимой в данный момент [2,3]. Другими словами, имеется проблема избыточности информации, передаваемой оператору: перегруженные интерфейсы терминальной части, у каждой системы управления свои технологические экраны, с различным расположением окон настроек системных параметров, выбора управляющих программ, привязки осей станков, реферирование системы и т.д.

Новизна предлагаемого подхода к построению человеко-машинного взаимодействия заключается в применении Web-технологий и дополненной реальности в использовании новых методов и алгоритмов хранения и доступа к информации, позволивших с одной стороны унифицировать НМИ от разных производителей систем ЧПУ, с другой стороны - избавиться от избыточности информации на экране.

II. СБОР ДАННЫХ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Существующие подходы по конфигурированию технологических экранов не обладают необходимой гибкостью настройки и направлены на продвинутых пользователей [4]. Зачастую информация на экранах

Работа выполнена в рамках соглашения №31-1/03-С18 от 01.08.2018 между ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» и ФГАОУ ВО «СПб НИУ информационных технологий, механики и оптики»

оператора систем ЧПУ либо избыточная, либо недостаточная. Предлагается подход построения расширенных терминалов системы ЧПУ для управления и мониторинга процессов обработки с использованием мобильных устройств на базе единого Web-сервера и сборщика данных. Такой подход снимает привязанность к конкретной технологической единице и обеспечивает передачу данных как на мобильные устройства, так и на средства дополненной реальности (AR) объединенные в единую информационную сеть с технологическим оборудованием [5-7]. Применение Web-сервера позволяет адаптировать вывод информации на устройства с различными размерами и разрешениями экранов.

Для возможности сбора данных, например, с линии станков необходимо, чтобы это целевое оборудование было подключено в единую информационную сеть. В настоящее время с тенденцией развития концепции Индустрия 4.0 станкостроители для решения такой задачи используют либо готовые решения от компаний разработчиков, либо используют решения разработчиков систем ЧПУ («опция 4.0» для FAGOR, «FOCAS2» для Fanuc, «SDK Remo Tools» для Heidenhain и др.) Также возможно применение решений на основе OPC серверов и SCADA систем, в зависимости от поставленных задач.

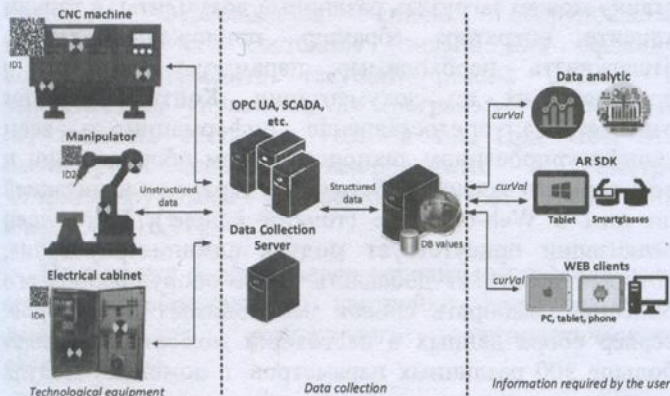


Рис. 1. Структура предлагаемого решения

На представленной схеме (рис.1) показано технологическое оборудование, объединенное в единую информационную сеть, данные с которого поступают на OPC UA сервер или SCADA, а далее – на Web-сервер агрегирования и предоставления информации [8]. Возможно решение, когда данные поступают на собственный сервер сбора информации, но тогда он должен включать в себя все функциональности промежуточных узлов и поддерживать работу по различным протоколам связи, используемых технологическим оборудованием. В данной статье рассматривается именно второй вариант [9,10].

В текущем варианте предлагается возможность сбора данных с систем ЧПУ «АксиОМА Контрол» с помощью специального API и FAGOR CNC 8060 с помощью опции Industry 4.0. В разработанном сервере сбора данных происходит подключение к системам ЧПУ по TCP/IP и запрос данных о работе технологического оборудования в двух вариантах: полинг и подписка на критические события [11-13]. Предполагается добавить поддержку систем Fanuc i0 и Heidenhain iTNC 530. Собираемая информация структурируется в

специфицируемый формат JSON файла для отправки на разработанный Web-сервер, откуда выбираемые пользователем данные могут отображаться с использованием тонких Web-клиентов (планшеты, смартфоны, ПК) или на специализированных устройствах (AR очки, шлемы).

III. СПОСОБ АГРЕГИРОВАНИЯ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WEB-СЕРВЕРА

Рассмотрим основные шаги получения данных web сервером и хранения их в БД (рис.2).

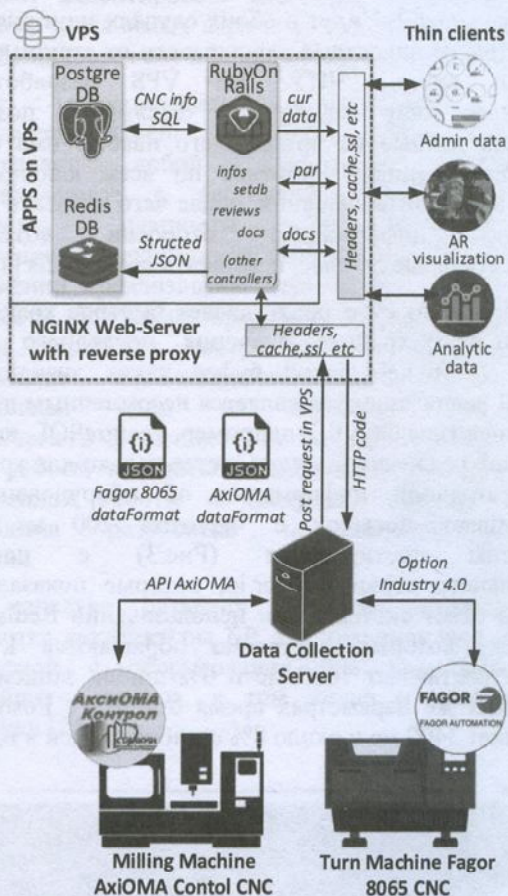


Рис. 2. Взаимосвязь основных компонентов

На нижнем уровне располагается технологическое оборудование, данные с которого поступают на сервер сбора данных (локальный), который находится в одном цехе с этим оборудованием. В приведенном выше примере используется API системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» и специальная опция ЧПУ FAGOR 8065 [14]. После сбора данных они формируются в соответствующие JSON. Далее происходит post запрос на облачный VPS сервер, где развернут веб-сервер nginx, отвечающий за функции кэш дескрипторов файлов, поддержки SSL протоколов, обработки запросов и т.д. На VPS также установлен фреймворк RubyOnRails, с помощью которого происходит разбор пакетов от сервера сбора данных, структурирования полезной информации в единый JSON файл и запись в БД Redis.

Например, от «АксиОМА Контрол» приходит формат пакета для моточасов вида ключ-значение:

```
dataURL = GetConnectURLforBD()
+ "&data_name[]=mototime"
```

```

+ "&mototime[mototimes.core_time]="
+ "&mototime[mototimes.core_current_time]="
+ "&mototime[mototimes.reload_core]="
+ "&mototime[mototimes.chanel_count]="

```

Для FAGOR CNC 8065 формат моточасов выглядит следующим образом:

```

dataURL = GetConnectURLforBD()
+ "&data_name[]=mototime"
+ "&mototime[mototimes.core_time]="
+ "&mototime[mototimes.first_time_start]="
+ "&mototime[mototimes.last_time_start]="

```

После знака '=' идут в обоих случаях идут значения. Параметры отличаются в зависимости от структуры API функций систем ЧПУ. На VPS разработанный контроллер Ruby '/set_db', to: 'data#set_db' позволяет разбирать данные из пришедшего пакета: имя секций (mototime), в цикле пройти по всем ключам этой секции и получить значения, после чего записать только полезную информации, отбросив возможные вспомогательные данные, и записать все в Redis [15].

БД Redis по сути представляет быстрое хранилище, позволяющее хранить значения последнего пакета данных (или небольшой буфер таких значений). В текущей реализации это является несомненным плюсом, т.к. стандартная база БД, например, PostgreSQL, который в текущей реализации используется только для хранения вспомогательной информации об оборудовании не выдерживает посылок с частотой 200 мс. Были проведены тестирования (Рис.3) с помощью специального сервиса loader.io, которые показали, что средний ответ системы при использовании Redis и 400 клиентах, которые постоянно обращаются к Web-серверу составляет 1600 мс и 0% шибко записи в БД. При таких же параметрах время отклика с PostgreSQL составляет 3400 мс и около 8% ошибок записи в БД.

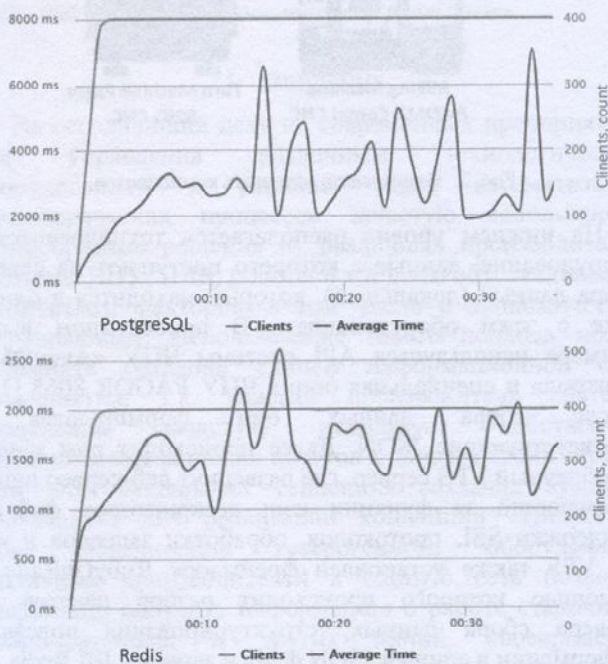


Рис. 3. Сравнение нагрузки на Web-сервер

Проведенный тест показал, что для накопления исторических данных целесообразно использовать хранилище PostgreSQL или аналогичную реляционную

БД. Для быстрого доступа к данным, например, при использовании push-уведомлений необходимо использовать быстрое хранилище Redis. Такой подход с использованием нескольких БД позволяет разрабатывать собственные API для обращения к агрегированным данным и при этом гибко настраивать права доступа к определенным типам данных технологического оборудования. С помощью собственного API можно интегрировать сторонние решения по проведению аналитики исторических данных и выстраивания бизнес-процессов – использование различных business intelligence пакетов (Power BI) и библиотек визуализации данных (Kibana).

В текущей реализации существует несколько контроллеров Ruby, каждый из которых имеет адрес, по которому происходит получение данных:

```

get 'infos/:id', to: 'info#show', as: 'info' # отображение
страницы со всем списком подключенного оборудования
get '/reviews/:machine_id' # страница с текущим станком
get '/get/:id', to: 'data#get' # обращение по id
get '/set_db', to: 'data#set_db' # запись в БД
get '/documentations/:machine_id' # документация станков

```

Например, контроллер documentations отвечает за работу с документацией оборудования: к каждому станку можно загрузить различные документы, в тонком клиенте оператора (браузер, приложение) можно отслеживать необходимые параметры системы и проверять их по документации. Контроллер infos отвечает за предоставление информации о всем сконфигурированном технологическом оборудовании и возможности задания собственных экранов с навигацией по ним в Web-браузере (тонкий клиент). В текущей реализации присутствует модуль администрирования, который позволяет добавлять новое оборудование, его описание, выбирать список необходимых параметров: сервер сбора данных в настоящий момент отправляет больше 300 различных параметров, с помощью модуля администрирования можно подстроить интерфейс оператора под конкретную задачу и выбрать, создав новый экран НМИ в реальном времени.

Данные с контроллера поступают в Web-сервер nginx после чего отправляются на тонкие клиенты. Тонкие клиенты представляют собой web-браузер или специальное приложение (для варианта AR решения).

IV. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПРИМЕРЕ WEB-КЛИЕНТА И AR ПРИЛОЖЕНИЯ

Представленные выше компоненты направлены на агрегирование данных в облачных серверах, которые могут быть расположены как локально на территории предприятия (хранение наиболее важных технологических данных), так и удаленно (вспомогательная информация). Рассмотрим сервер сбора данных

Модуль сбора данных разрабатывается как кроссплатформенное решение для запуска на различных программно-аппаратных платформах. Например, в рассматриваемой реализации используется 3 типа реализации модуля. Первый тип – приложение с GUI для гибкой настройки, которое работает совместно с терминальной частью системы ЧПУ и отправляет на Web-сервер запросы формата

request1=(System.Net.HttpWebRequest) System. Net. Web Request.Create(data), где data – строка, содержащая JSON файл с данными и параметрами оборудования. Второй – консольная утилита, запущенная на одноплатном ПК Raspberry Pi 3, которая подключается к отдельной единице технологического оборудования и собирает дополнительную информацию с помощью внешних датчиков подключенная к единой иномарной сети. Третий – единый сервер в информационной сети, если системы управления могут посылать диагностические данные по EtherNet.

Каждое оборудование имеет свой уникальный ID, который добавляется к началу посылки, для того, чтобы однозначно определить область записи в БД на Web-сервере.

В настоящий момент сбор данных происходит с 2 станков, 3 контроллеров автоматизации и двух тестовых стендов под управлением системы ЧПУ «АксиОМА Контроль», также данные поступают с 2 стендов с системой ЧПУ FAGOR CNC 8065, в ближайших планах тестирование работы сервера с реальным станком с ЧПУ FAGOR.

К серверу возможно подключение через любой браузер (настольный ПК, планшет, смартфон), где в виде страницы отображается список оборудования, показывается его состояние (онлайн или офлайн), возможно отследить текущий режим работы и выполняемую управляющую программу, просмотреть лог ошибок, состояние ПЛК и т.д. При этом эти параметры являются выбираемыми и быстро конфигурируемыми в зависимости от требований оператора [16,17].

На рисунке 4 представлен вариант интерфейса web-сервера, отображающего настройки фильтров сбора данных для конкретного технологического оборудования.



Id	Title	Model	Machine type	Image	Created at
7	Аудитория 365	CAN станок	Milling		April 03, 2019 12:24
5	Аудитория 3-6	Стенд АксиОМА	Stand		March 25, 2019 17:23
4	Лаборатория 6	Э7106-МФ4	Milling		March 17, 2019 17:20
3	Аудитория 349	Стенд АксиОМА	Stand		March 17, 2019 17:19
2	Лаборатория 11	CA-535	Turn		March 16, 2019 16:33

Рис. 4. Интерфейс web-сервиса работы с агрегированными данными

Доступ к расширенным настройкам имеет только обученный персонал, который выбирает те данные, которые будут агрегированы на облачном сервере. Выбор же отображаемых данных доступен каждому оператору, который выбирает те данные, которые необходимы в текущий момент времени.

С развитием технологий одним из перспективных направлений является применение дополненной реальности на производстве, что позволяет, с одной стороны, значительно повысить информативность о проходящих технологических процессах, а с другой – снизить объем избыточной информации, в которой оператор не нуждается в определенный момент [18,19]. При этом визуализация технологических процессов будет максимально наглядной, а уровень опасных ситуаций, вызванных неопытностью оператора, будет сведен к минимуму. При обучении такой подход позволяет акцентировать внимание обучающегося на ключевых и значимых параметрах, а также освобождает от необходимости изучать сложный интерфейс [20,21].

Для визуализации обработанных данных используется Client компонент. Этот компонент представляет собой клиентское приложение, устанавливаемое в настоящий момент на смарт устройства – планшеты, смартфоны и очки под управлением операционной системы Android [22,23]. В приложении реализованы технологии дополненной реальности. Основным экраном является - изображение с камеры устройства, поверх которого отрисовывается информация о технологическом оборудовании. Представлен один из вариантов применения предлагаемого решения (Рис.5), когда оператору во время работы выдаются специальные подсказки. Для полноценной работы и внедрения данного способа необходима разработка полноценной методики обучения.

В качестве развития проекта рассматривается проработка архитектуры БД для хранения информации, получаемой с оборудования для возможности ее дальнейшего анализа, в том числе и предиктивной аналитики [24,25].



Рис. 5. AR обучение работы с терминалом системы ЧПУ

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный подход по агрегированию данных с использованием модуля сбора данных и последующего разбора на Web-сервере, позволяет предоставлять информацию, которая необходима в данный момент, на определенные события, а также проводить обучение операторов по работе с технологическим оборудованием с использованием различных подсказок, либо экранов, которые усложняются по мере освоения материала.

Интеграция разрабатываемого решения с технологическим оборудованием может происходить 3

способами: GUI утилита, специальное устройство, единый модуль сбора. Собранные данные структурируются, после чего отправляются на выбранный облачный сервер (локальный или удаленный). Данные о работе технологического оборудования, структурированные в единой БД могут использоваться для проведения различной аналитики и прогнозирования различных нештатных ситуаций.

Показаны практические испытания с использованием разработанного web-сервера, на котором можно отслеживать информацию в реальном времени о работе ряда технологического оборудования. Разработанный пользовательский интерфейс позволяет выбирать и отображать только необходимые данные в текущий момент. Также показан вариант использования модуля агрегирования данных для отображения информации с применением AR технологии для вывода подсказок оператору во время работы с фрезерным станком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Nikishechkin, P., Kovalev, I. and Nikich, A. An approach to building a cross-platform system for the collection and processing of diagnostic information about working technological equipment for industrial enterprises. MATEC Web of Conferences, 129, p.03012.
- [2] Martinov, G. and Kozak, N. Numerical control of large precision machining centers by the AxiOMA control system. Russian Engineering Research, 35(7), pp.534-538.
- [3] Martinov, G., Kovalev, I. and Al Khoury, A. Construction of a Specialized CNC System for Thread Grinding Machines. In: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi: IEEE
- [4] Nezhmetdinov, R., Nikishechkin, P. and Nikich, A. Approach to the Construction of Logical Control Systems for Technological Equipment for the Implementation of Industry 4.0 Concept. In: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi: IEEE.
- [5] Kovalev, I., Nikishechkin, P., and Grigoriev A. Approach to Programmable Controller Building by its Main Modules Synthesizing Based on Requirements Specification for Industrial Automation. International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), pp.1-4
- [6] Martinov, G., Lyubimov, A., Bondarenko, A., Sorokoumov, A. and Kovalev, I. An approach to building a multiprotocol CNC system. Automation and Remote Control, 76(1), pp.172-178.
- [7] Martinov, G., Kozak, N., Nezhmetdinov, R., Grigoriev, A., Obukhov, A. and Martinova, L. Method of decomposition and synthesis of the custom CNC systems. Automation and Remote Control, 78(3), pp.525-536.
- [8] Grigoriev, S. and Martinov, G. An Approach to Creation of Terminal Clients in CNC System. In: 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications. Vladivostok, pp.1 - 4.
- [9] Viktor Chekryzhov, Ilya A.Kovalev, Anton S.Grigoriev. An approach to technological equipment performance information visualization system construction using augmented reality technology. In: MATEC Web Conf. Volume 224, 2018. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018). Sevastopol, Russia, September 10-14, 2018. pp.1-7.
- [10] Petr Nikishechkin, Nadezhda Chervonnova, Anatoly Nikich. Approach to the construction of specialized portable terminals for monitoring and controlling technological equipment. In: MATEC Web Conf. Volume 224, 2018. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018). Sevastopol, Russia, September 10-14, 2018. pp.1.
- [11] Martinov, G., Sokolov, S., Martinova, L., Grigoryev, A. and Nikishechkin, P. Approach to the Diagnosis and Configuration of Servo Drives in Heterogeneous Machine Control Systems. In: 8th International Conference, ICSI. Fukuoka, Japan, pp.586-594.
- [12] Roman Pushkov, Evgeniy Salamatin, Svetlana Evstafieva. Method of developing parametric machine cycles for modern CNC systems using high-level language. In: MATEC Web Conf. Volume 224, 2018. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018). Sevastopol, Russia, September 10-14, 2018. pp.1-7
- [13] Martinov, G. and Kozak, N. Specialized numerical control system for five-axis planing and milling center. Russian Engineering Research, 36(3), pp.218-222.
- [14] Pushkov, R., Martinova, L. and Evstafieva, S. Extending Functionality of Control System by Adding Engraving Capabilities. In: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi: IEEE.
- [15] Michael Hartl. Ruby on Rails Tutorial: Learn Web Development with Rails Second Edition. Addison-Wesley. 2012.
- [16] O. Perez, S. Saucedo, J. Cruz Manufacturing 4.0: The Use of Emergent Technologies in Manufacturing. Palibrio 2018.
- [17] M.F. Cloutier, C. Paradis, V.M. Weaver, "Design and analysis of a 32-bit embedded high-performance cluster optimized for energy and performance," in Hardware-Software Co-Design for High Performance Computing (Co-HPC) IEEE, pp.1-8, 2014.
- [18] G. M. Martinov, P.A.Nikishechkin, A.S.Grigoriev and N. Yu. Chervonnova Organizing Interaction of Basic Components in the CNC System AxiOMA Control for Integrating New Technologies and Solutions // Automation and Remote Control, 2019, Vol. 80, No. 3, pp. 584–591
- [19] Jian-Yu Chen, Kuo-Cheng Tai, Guo-Chin Chen, "Application of Programmable Logic Controller to Build-up an Intelligent Industry 4.0 Platform" in Proc. CIRP, vol. 63, pp. 150-155, 2017.
- [20] Martinova, L., Kozak, N., Nezhmetdinov, R., Pushkov, R. and Obukhov, A. The Russian multi-functional CNC system AxiOMA control: Practical aspects of application. Automation and Remote Control, 76(1), pp.179-186.
- [21] Grigoriev, S. and Martinov, G. The Control Platform for Decomposition and Synthesis of Specialized CNC Systems. Procedia CIRP, 41, pp.858-863.
- [22] Dawn Griffiths, David Griffiths. Head First Android Development: A Brain-Friendly Guide 2nd Edition. CA O'Reilly. 2017.
- [23] Martinova, L., Sokolov, S. and Nikishechkin, P. Tools for Monitoring and Parameter Visualization in Computer Control Systems of Industrial Robots. Advances in Swarm and Computational Intelligence, 6th International Conference, ICSI 2015 held in conjunction with the Second BRICS Congress, CCI, Proceedings, Part II, pp.200-207.
- [24] Jonathan Linowes. Unity Virtual Reality Projects. Packt Publishing. 2018
- [25] Martinova L. and Martinov, G. Automation of Machine-Building Production According to Industry 4.0. In: 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications. Vladivostok, pp.1 - 4.