

Разработка модуля подключения периферийных устройств терминальной части системы ЧПУ по интерфейсу USB¹

*Н.С. Мартемьянова,
магистрант, martemianowa.nata@yandex.ru,
С.В. Соколов,
к.т.н., доц., sokolov@ncsystems.ru,
МГТУ «СТАНКИН», г. Москва*

В данной работе описан подход, позволяющий создавать периферийные устройства ввода-вывода терминальной части системы ЧПУ, в которых применяются недорогие процессоры массового производства. Кроме того, на примере модернизируемой станочной панели системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» описан процесс разработки модуля подключения на базе отладочной платы с микропроцессором STM32F103RBT6. Рассмотрены аспекты конфигурирования периферийных устройств микропроцессора, создания дескрипторов USB устройства, специфицирован протокол обмена данными между станочной панелью и терминалом системы ЧПУ.

This work describes an approach that allows a creation of peripheral input-output devices for the terminal part of the CNC system using cheap mass production processors. In addition, the process of developing a connection module was based on a debugging board equipped with the STM32F103RBT6 microprocessor to get a modernized machine panel for the "AxiOMA Control" CNC system. In this work were considered: the aspects of configuring the peripheral devices of the microprocessor, creating descriptors for the USB device, specifying the protocol of data exchange between the machine panel and the terminal computer of the CNC system.

Терминальная задача в составе математического обеспечения системы ЧПУ имеет особое значение, поскольку предоставляет конечному пользователю функциональные возможности управления. Наполнение терминальной задачи определяет привлекательность и конкурентоспособность системы на рынке [1]. Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» позволяет эффективно решать совокупность всех задач управления: терминальной, логической, диагностической и геометрической. Для взаимодействия с оператором система ЧПУ использует различные устройства ввода и вывода информации: стационарную панель оператора, терминал, выносные пульта. Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» является универсальной и может использоваться для управления различными типами станков и промышленных установок, для многих из которых использование стандартного на данный момент способа подключения станочной панели по интерфейсу Ethernet [2, 3] является не удобным или связано с необходимостью установки дополнительных коммуникационных плат расширения. Для решения данной проблемы и расширения функциональных возможностей терминальной части системы ЧПУ был разработан модуль на базе микроконтроллера STM32F103RBT6 для подключения периферийных устройств ввода-вывода по интерфейсу USB, присутствующему в каждом современном вычислительном устройстве.

В ходе проделанной работы были проанализированы подходы к решению терминальной части системы ЧПУ. Хотя это и не является проблемой, но был сделан вывод, что разработчики систем ЧПУ и станкостроители доверяют проверенным решениям для обеспечения максимальной надежности автоматизации. Но данные решения не всегда удобные, поэтому возникла задача разработать простой модуль подключения станочной панели системы ЧПУ по интерфейсу USB, обладающего гибкостью в программных настройках и расширяемостью под нужды конкретного устройства.

Проблема состоит в том, что в качестве интерфейсов подключения периферийных устройств ввода-вывода разработчики систем ЧПУ применяют зачастую не универсальные, а проверенные временем. Это приводит к тому, что появляются жесткие требования по его применению к данному устройству. Поэтому в данной работе и описывается разработка недорогого модуля подключения без предъявления каких-либо требований по наличию драйверов, плат расширения, специализированного кода для отправки и получения данных.

В качестве решения поставленной проблемы приводится структурная схема подключения периферийных устройств ввода-вывода. На структурной схеме (рисунок 1) представлены – разрабатываемый модуль на микроконтроллере STM32F103RBT6 семейства STM32, который выступает основой предлагаемого подхода, и через который осуществляется коммуникация между терминалом системы ЧПУ и различного рода периферийными устройствами ввода-вывода. В нашем случае такими устройствами были выбраны станочные панели системы ЧПУ, а именно модернизируемая станочная панель, вновь создаваемая станочная панель и некое готовое решение станочной панели, например, фирмы-заказчика программного обеспечения для осуществления коммуникации с терминальным оборудованием. Неотъемлемой частью станочных панелей будут выступать переходные платы, которые содержат в своем составе ряд специализированных интегрированных микроконтроллеров, передающих данные на центральный модуль подключения, то есть на разрабатываемый модуль, по внутрисхемным интерфейсам I2C и SPI. При этом готовое решение станочной панели может быть интегрировано с переходным модулем, передающим данные по некоторому общему протоколу. Далее уже с применением периферийного USB микроконтроллера разрабатываемого модуля будет осуществляться взаимодействие между терминалом системы ЧПУ и станочной панелью.

¹ Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания (№ 2.1237.2017/4.6).

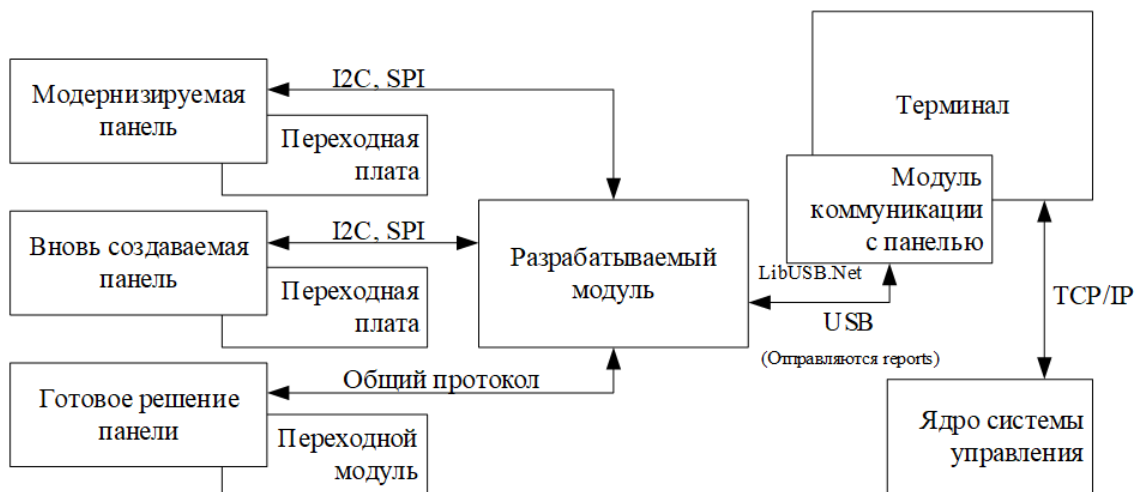


рис. 1 Структурная схема

На основе представленной выше схемы можно создавать периферийные устройства ввода-вывода терминальной части системы ЧПУ, в которых применяются недорогие процессоры массового производства. Важной составляющей данной схемы является организация пакетного обмена данными между терминалом и микроконтроллером разрабатываемого модуля с помощью репортов (пакеты данных заранее оговоренной структуры). Кроме того, необходимо поддерживать взаимодействие с ядром системы управления.

Существуют различные интерфейсы для осуществления подключения станочной панели к терминалу системы числового программного управления. В связи с этим были проанализированы подходы к построению терминальной части систем ЧПУ различных фирм производителей. Результаты данного анализа (Таблица 1) приводят к выводу, что разработчики систем ЧПУ и станкостроители верят, что максимальной надежности в автоматизации можно достичь за счет применения проверенных решений. Такая склонность к традиционализму и скептическое отношение к новым веяниям не дают продвигаться в сторону новых идей.

Таблица 1

Подходы к построению терминальной части систем ЧПУ

Производитель	Siemens	Heidenhain	Fanuc	Bosch Rexroth	Балт-Систем	Кафедра КСУ МГТУ «СТАНКИН»
Наименование станочной панели	MCP 483 USB (SINUMERIK 828D)	MB 620	—	Rexroth IndraMotion MTX 10VRS	NC-201M	АксиОМА Контроль
Интерфейс	USB	HSCI	RS232	Sercos-III	EXKB	Ethernet/RS485
Способ подключения выносного пульта	+24 вольт Дискретные сигналы	+24 вольт Дискретные сигналы	CAN	(анализ литературы не дал результата)	+24 вольт Дискретные сигналы	+24 вольт Дискретные сигналы
Чем обрабатывается нажатие на клавиши	Панель оператора	HSCI адаптер PLB 6001	Закрывающаяся система управления	(анализ литературы не дал результата)	Плата CPU PCA-6751	RS-485 (ядро ЧПУ) Ethernet (ОП)
Возможность подключения дополнительных устройств ввода	Есть	Есть	Нет	Есть	Нет	Нет

Архитектурная модель предлагаемого решения (рисунок 2) представлена на основе станочной панели «АксиОМА Контроль», разработки кафедры «Компьютерные системы управления». Основой предлагаемого решения является микроконтроллер STM32F103RBT6 семейства STM32 имеющий аппаратную поддержку коммуникации по интерфейсу USB. Физические сигналы с органов управления станочной панели и пульта ручного управления обрабатываются специализированными микроконтроллерами, установленными на переходную плату станочной панели, в число которых входят:

- драйвер светодиодной матрицы 8x8 MAX7219;
- драйвер матричной клавиатуры 8x10 TCA8418RTWR;
- 3 GPIO-регистра TCA9555PWR для считывания сигналов с галетных переключателей регуляторов подачи и оборотов шпинделя;
- микроконтроллер ATmega328-AU для опроса переключателей на пульте ручного управления, а также маховиков, установленных на самой панели и на выносном пульте.

Центральный микроконтроллер на отладочной плате XNUCLEO-F103RB взаимодействует с устройствами на переходной плате станочной панели по внутрисхемным протоколам I2C и SPI, циклически получая данные о состоянии физических органов управления и записывая регистры конфигурации. После считывания актуальной информации согласно спецификации интерфейса взаимодействия формируются пакеты данных, которые отправляются терминальному компьютеру системы ЧПУ по шине USB. На стороне программного обеспечения терминала системы ЧПУ пакеты данных принимаются модулем коммуникации со станочной панелью, базирующемся на библиотеке с открытым исходным кодом LibUSB. Дальнейшая обработка сигналов от станочной панели, генерация и выдача управляющих команд в ядро системы ЧПУ производится алгоритмами виртуальной панели оператора в составе терминального приложения. Также, терминал на основании данных о состоянии и режиме работы ядра системы ЧПУ формирует список светодиодов, которые должны быть зажжены, и отправляет его обратно в станочную панель. Периферийное устройство USB микроконтроллера STM32F103RBT6 принимает входящий пакет данных и генерирует прерывание, обработчик которого копирует полученную конфигурацию зажженных светодиодов в соответствующие поля внутренней структуры PanelData, из которых они будут перезаписаны в драйвер светодиодов во время следующего выполнения основного цикла программы. Также, потенциально возможна иная архитектура организации взаимодействия, когда данные от станочной панели по интерфейсу USB сразу же пересылаются в ядро системы ЧПУ и последующая их обработка производится уже там, минуя терминальный компьютер.

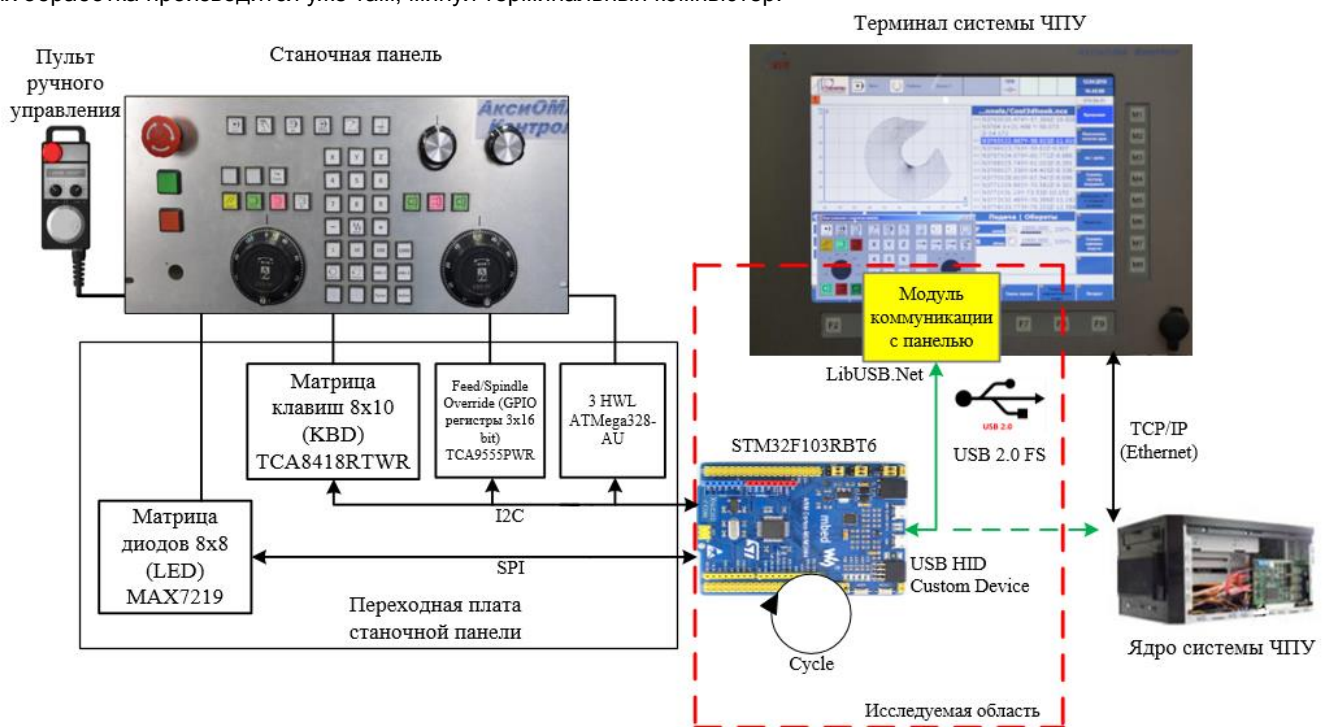


рис. 2 Архитектурная модель модуля подключения станочной панели

Алгоритм работы главного цикла программы в контроллере (рисунок 3): инициализация устройств и внутренних структур данных, запись конфигурации в периферийные устройства по I2C и SPI. Далее начинается бесконечный цикл, в котором есть часть, которая в случае необходимости, то есть в случае получения команды со стороны терминала обновляет конфигурацию драйвера диодов. Записываются зажженные/потушенные диоды в диодный драйвер, а дальше начинаем считать. (Отправляется 8 регистров, каждый из которых однобайтный. Каждый бит этого байта соответствует состоянию каждого диода в матрице диодов размером 8x8. Отправляется информация о том, какие диоды должны быть зажжены, а какие должны быть потушены. То есть, по сути, мы зажигаем или тушим эти диоды).

После того, как произойдет запись в драйвер, в начале каждого цикла сначала записываются диоды, потому что данные от них могли прийти в любое время по USB, и они получают и сохраняются отдельно от этого цикла по прерываниям. Затем считывается периферия: положение галетных переключателей Feed/Spindle Override, нажатие кнопок, которые произошли после последнего опроса, считываем нажатия кнопок, считываем пульт ручного управления, Feed/Spindle Override, считываем маховики. Формируем REPORT. Он один большого размера (отвечает за состояние всего). Формируем и отправляем по USB. Далее в основном цикле производится пауза в 40 миллисекунд («SLEEP»). Раз в 40 миллисекунд просыпаемся и записываем новые данные о диодах, и если что-то изменилось, то

информация об этом обновится (изменится). Клавиатурный драйвер буферизирует сам (поэтому 40 мс вполне достаточно).

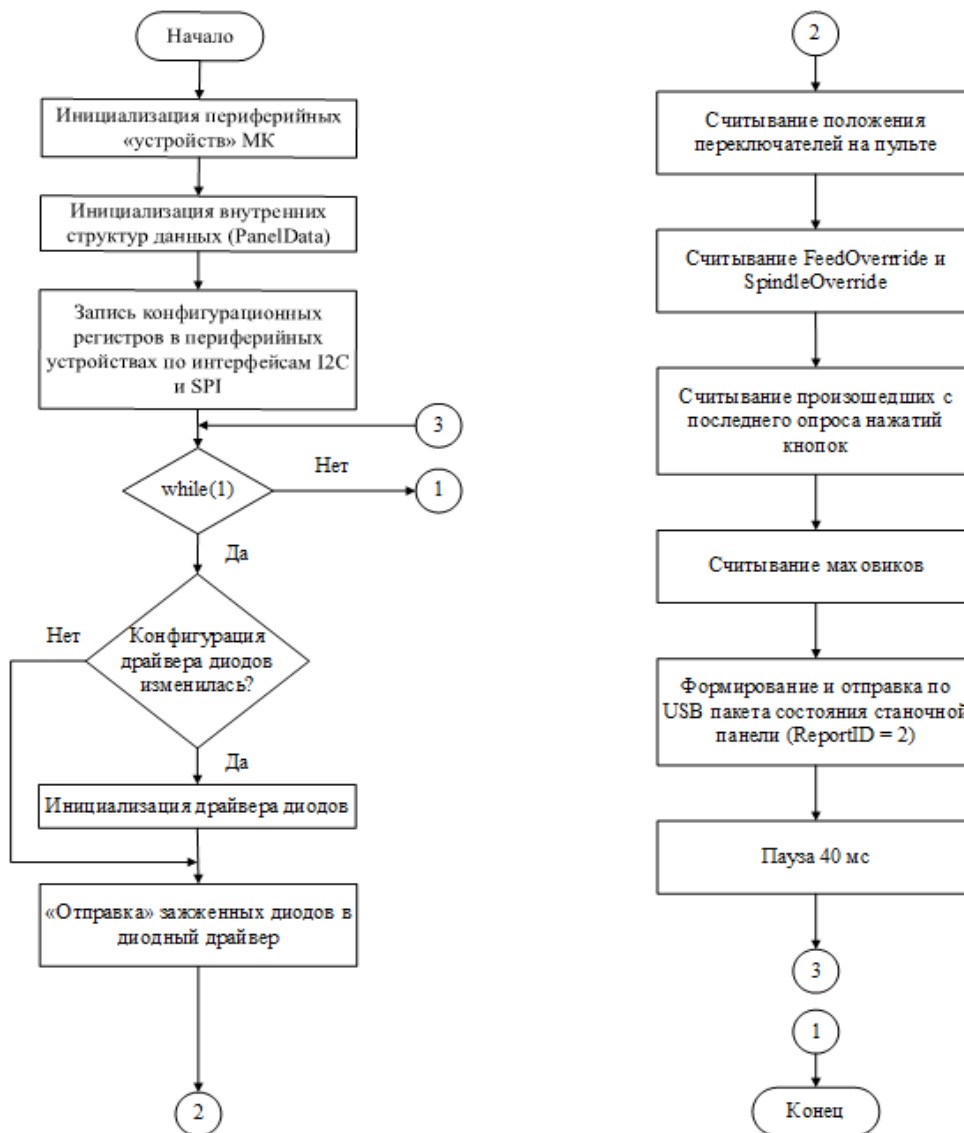


рис. 3 Алгоритм работы главного цикла микроконтроллера

Для коммуникации между микроконтроллером STM32F103RBT6 и терминальным компьютером системы ЧПУ используется профиль устройства USB HID Custom Device, специально предназначенный для устройств человеко-машинного интерфейса. Все современные операционные системы имеют встроенную поддержку для этого типа устройств, избавляя разработчика от необходимости написания собственных драйверов и приобретения сертификатов для их цифровой подписи.

Для идентификации устройства и организации пакетного обмена данными с ним используются несколько строго специфицированных структур данных, называемых дескрипторами: дескриптор устройства, дескриптор конфигурации, описывающий возможности устройства, и дескриптор репортов, специфицирующий протокол взаимодействия. USB-устройство не может само инициировать передачу данных, так как координацией шины занимается host-устройство – терминальный компьютер. Поэтому при подготовке USB дескриптора устройства указывается частота его опроса (максимум 1 кГц) [4]. Для устройства панели была выбрана частота опроса, равная 40 мс, как компромисс между временем реакции на действия пользователя и вычислительной нагрузкой, связанной с обработкой данных от панели.

Для создания дескриптора репортов использовалась специализированная утилита HID Descriptor Tool. Ведущее устройство шины USB (терминальный ПК) и периферийное устройство (модуль подключения станочной панели) обмениваются между собой пакетами данных заранее оговоренной структуры. Структура всех пакетов должна быть описана в структуре HID_ReportDescriptor. Пакеты различаются по уникальному идентификатору, передаваемому первым байтом в пакете. Протокол обмена данными между станочной панелью и терминальным ПК состоит из трех видов передаваемых данных: пакета с информацией о состоянии физических органов управления панели, передаваемый от панели к терминалу, и два пакета данных от терминального ПК – список зажженных светодиодов и параметры конфигурации микросхемы светодиодного драйвера (рисунок 4).

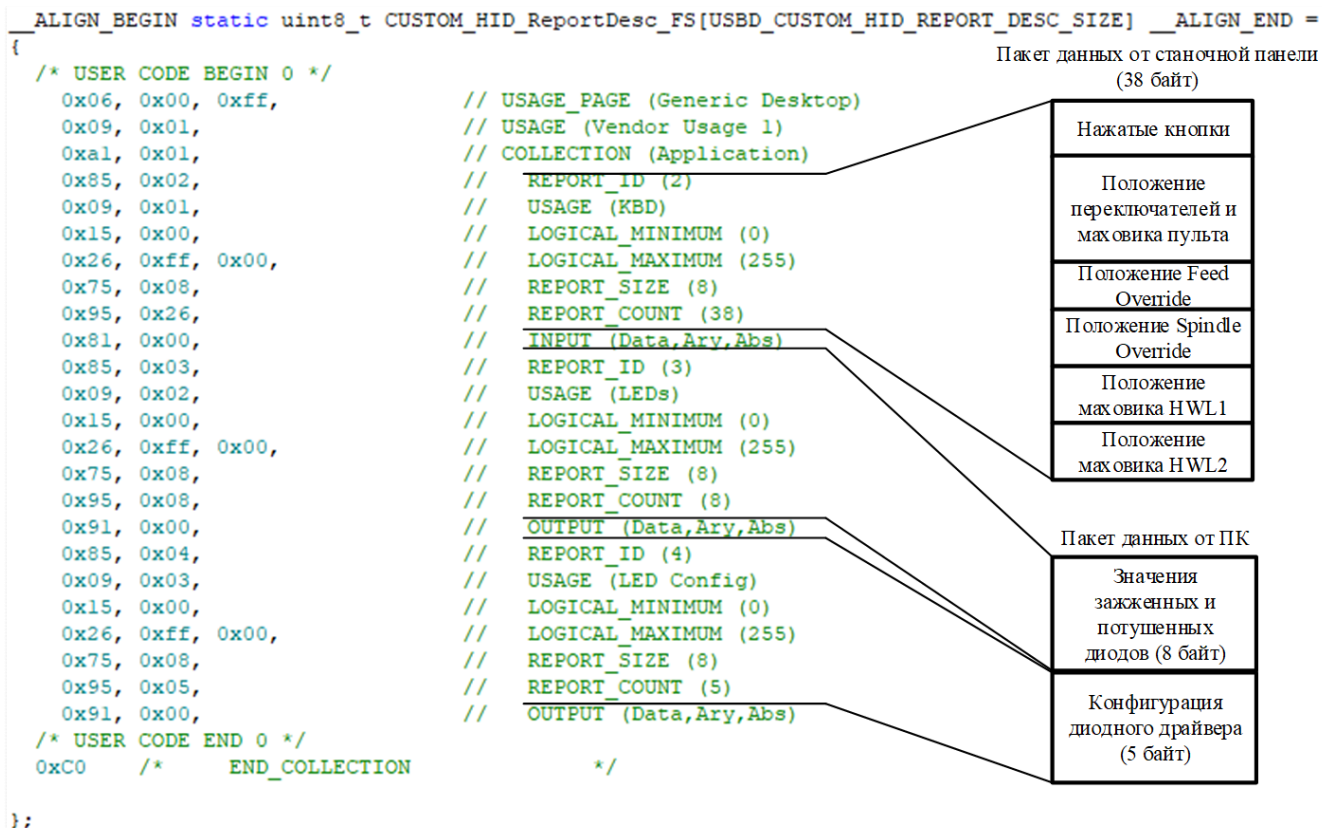


рис. 4 Протокол взаимодействия станочной панели

Выводы

Основными потребителями предложенного решения могут выступать разработчики систем ЧПУ и производители устройств, поддерживающих различные интерфейсы и протоколы связи. Универсальность разработанного модуля и его невысокая стоимость позволяют сокращать затраты при создании устройств терминального оборудования.

Предложенный подход значительно повышает гибкость системы ЧПУ, позволяя быстро и с минимальными затратами создавать различные периферийные устройства ввода с использованием широко распространенного интерфейса USB для передачи данных, а использование профиля USB-HID избавляет от необходимости написания собственных драйверов для устройства. Обработка нажатия кнопок панели может производиться как в терминальной части, так и в ядре системы ЧПУ, что гарантирует определенную вариативность при разработке архитектурной модели системы управления и упрощает создание проблемно-ориентированных решений с удобными и функциональными органами управления в соответствии с нуждами конкретного заказчика.

Литература

1. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: Учеб. пособие. – М.: Логос, 2005. – 296 с. ISBN 5-98704-0124
2. Мартинов Г.М., Ковалев И.А., Бабин М.С. Разработка программно-аппаратного модуля станочной панели с применением одноплатного ARM компьютера. Труды международной конференции CAD/CAM/PDM – 2016.
3. Пушков Р.Л., Евстафиева С.В., Лукьянов А.В. Проектирование станочной панели системы ЧПУ с использованием компьютерного моделирования. Труды международной конференции CAD/CAM/PDM – 2014.
4. Информационный ресурс «Хабрахабр» [электронный ресурс]: официальный сайт <https://habrahabr.ru/> STM32 и USB-HID – это просто. – Режим доступа <https://habrahabr.ru/post/208026/> (дата обращения 11.03.2018).