



Цифровая регистрирующая вычислительная система с функцией записи измерительной информации на карту памяти формата SDHC

А. И. Мартышкин ¹ ✉, Е. А. Данилов ¹

¹ Пензенский государственный технологический университет
проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, г. Пенза 440039, Российская Федерация

✉ e-mail: mai@penzgtu.ru

Резюме

Цель исследования. Основная идея статьи заключается в разработке цифрового устройства, созданного на отечественных комплектующих и предназначенного для регистрации измерительной информации с функцией записи на карту памяти и передачи ее на персональный компьютер при помощи USB-интерфейса. В статье также рассматриваются задачи, которые необходимо решить.

Методы. Проанализировав возможные альтернативные варианты разработки регистрирующей вычислительной системы, авторы предлагают вариант реализации ее на микроконтроллере, в программном обеспечении которого необходимо предусмотреть следующие функции: реализация информационно обмена по интерфейсу RS-485; реализация обмена по интерфейсу USB 2.0 для передачи накопленной регистрируемой информации на компьютер; реализация записи, чтения и стирания регистрируемой информации на flash-накопителе; реализация счетчика собственного времени с бесперебойной работой при пропадании питающего напряжения.

Результаты. В данной статье разработано цифровое устройство, предназначенное для цифровой регистрации с функцией записи измерительной информации на карту памяти формата SDHC. Работа устройства состоит в обеспечении регистрации информации с сохранением ее в виде файлов на карту памяти формата SDHC. Доступ к регистрируемой информации производится с компьютера через интерфейс USB 2.0 в режиме запоминающего устройства посредством программного драйвера, реализованного в микроконтроллере 1986BE92T компании Миландр. Инициализация устройства осуществляется с помощью компьютера, через драйвер реализующий аппаратный мост USB-UART по стандарту USB 2.0.

Заключение. Полученные результаты удовлетворяют поставленным цели и задачам. Разработано текстовое описание встроенного программного обеспечения микроконтроллера на языке Си. Кроме того, в статье разработано прикладное программное обеспечение, предназначенное для получения результатов измерения и отправки команд управления на микроконтроллер. Областью применения предлагаемого устройства являются специализированные вычислительные системы, предназначенные для цифровой регистрации информации.

Ключевые слова: аппаратный мост USB-UART; измерительная информация; карта памяти; микроконтроллер; персональный компьютер; формат SDHC; цифровое устройство.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Мартышкин А. И., Данилов Е. А. Цифровая регистрирующая вычислительная система с функцией записи измерительной информации на карту памяти формата SDHC // Известия Юго-Западного государственного университета. 2023; 27(2): 155-170. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-2-155-170>.

Поступила в редакцию 02.06.2023

Подписана в печать 29.06.2023

Опубликована 02.08.2023

Digital Recording Computer System with the Function of Recording Measurement Data to SDHC Memory Card

Alexey I. Martyshkin ¹ ✉, Evgeniy A. Danilov ¹

¹ Penza State Technological University,
1a/11 Baydukova Passage / Gagarina str., Penza 440039, Russian Federation

✉ e-mail: mai@penzgtu.ru

Abstract

Purpose of research. The main idea of the article is to develop a digital device created on domestic components and designed to record measurement information with the function of recording on a memory card and transferring it to a personal computer using a USB-interface. The article also considers the tasks to be solved.

Methods. Having analyzed possible alternative variants of development of the registering computer system, the authors offer a variant of its realization on the microcontroller, in the software of which it is necessary to provide the following functions: realization of information exchange via RS-485 interface; realization of exchange via USB 2.0 interface for transfer of the accumulated registered information to the computer; realization of recording, reading and erasing of the registered information on the flash-drive; realization of the counter of its own time with uninterrupted work at the time of the registration of the information on the microcontroller.

Results. This paper develops a digital device designed for digital registration with the function of recording measurement information on an SDHC memory card. The operation of the device consists in providing registration of information with saving it in the form of files on a memory card of SDHC format. Access to the registered information is made from a computer via USB 2.0 interface in the memory device mode by means of a software driver realized in the microcontroller 1986BE92T of the Milandr company. Initialization of the device is carried out with the help of a computer, through the driver implementing hardware bridge USB-UART on the standard USB 2.0.

Conclusion. The obtained results satisfy the set goal and objectives. A textual description of the microcontroller firmware in C language is developed. In addition, the paper develops application software designed to obtain measurement results and send control commands to the microcontroller. The field of application of the proposed device is specialized computing systems designed for digital recording of information.

Keywords: USB-UART hardware bridge; measurement information; memory card; microcontroller; personal computer; SDHC format; digital device.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Martyshkin A. I., Danilov E. A. Digital Recording Computer System with the Function of Recording Measurement Data to SDHC Memory Card. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2023; 27(2): 155-170 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-2-155-170>.

Received 20.06.2023

Accepted 29.06.2023

Published 02.08.2023

Введение

На сегодняшний день в области проектирования и создания микросхем, предназначенных для интеллектуальных датчиков, можно выделить следующие тенденции:

1. Развитие и широкомасштабное производство специализированных микросхем, в которых непосредственно интегрированы чувствительные элементы.

2. Создание и изготовление небольших партий микросхем для специализированных интеллектуальных сенсорных систем.

Для оптимизации времени разработки интеллектуальных датчиков физических величин широко используются универсальные микросхемы с встроенными реконфигурируемыми цифровыми арифметическими устройствами для обработки сигналов от различных типов датчиков. Эта концепция заключается в создании микроконтроллеров, спроектированных с учетом обработки сигналов от разнообразных физических датчиков [1-3].

Целью настоящей статьи является разработка цифрового устройства, созданного на отечественных комплектующих и предназначенного для регистрации измерительной информации с функцией записи на карту памяти и передачи ее на персональный компьютер при помощи USB-интерфейса

Задачей настоящей статьи является разработка устройства, предназначен-

ного для цифровой регистрации информации с последующей ее записью на носитель. Работа устройства должна состоять в обеспечении регистрации информации, поступающей по каналу RS-485, с сохранением регистрируемой информации в виде файлов на карту памяти формата SDHC. Доступ к регистрируемой информации производится с персонального компьютера через интерфейс USB 2.0 в режиме запоминающего устройства посредством программного драйвера, реализованного в микроконт-роллере отечественного производства 1986BE92T компании Миландр. Инициализация устройства осуществляется с помощью персонального компьютера, через драйвер, реализующий аппаратный мост USB-UART по стандарту USB 2.0.

Регистратор должен выполнять следующие функции:

- 1) реализация протокола работы с картой памяти SDHC;
- 2) реализация драйвера файловой системы FAT32;
- 3) реализация записи регистрируемой информации в .csv файлы;
- 4) реализация драйвера USB и класса Mass Storage Device;
- 5) реализация протокола информационно логического обмена по интерфейсу RS-485.

Разработать описание встроенного программного обеспечения микроконтроллера на языке Си.

Материалы и методы

Разработка программного обеспечения для ПЭВМ осуществляется на различных языках программирования, в том числе и на языке C++, основы программирования на котором приведены в [4], представляющем собой полноценный самоучитель по языку программирования C++. Шаг за шагом автор рассказывает обо всех основных аспектах этого языка. Книга также охватывает важные темы, такие как обработка исключений, шаблоны, пространства имен и многопоточное программирование. Программное обеспечение удобно разрабатывать в среде Qt, основы программирования в которой описаны в [5], предназначенной как для новичков, так и для профессионалов, желающих узнать что-то новое. Автор демонстрирует читателю нетипичные паттерны и приемы создания уникальных приложений. Затрагивается тема создания приложений для платформ Windows, Mac OS X, Linux, Android и iOS, основанная на применении библиотеки Qt версии 5.10 и выше. Для программирования микроконтроллера 1986VE92T отлично подойдет [6]. Язык C является фундаментом всех языков программирования, при помощи которого создаются идеальные эффективные приложения. Автор приложил усилия, направленные на исследование аспектов, оставшихся вне внимания в других источниках. Он анализирует инструменты, которые можно использовать, а также обсуждает библиотеки, предназначенные для эффек-

тивной работы с операциями, связанными списками и анализом XML-структур. Книга ориентирована на программистов, которые умеют работать на любом языке программирования, и знают базу языка Си. Определенно, для программирования микроконтроллера 1986VE92 [7] подойдет [8], где освещены фундаментальные аспекты программирования на языке Си для отечественных 32-разрядных микроконтроллеров из семейства 1986VE9x компании Миландр [9].

Далее рассмотрим возможные варианты реализации устройства. Под регистратором понимают электронное устройство, способное осуществлять периодичную опросность данных с длительным временем накопления и цифровым интерфейсным выходом для связи с персональным компьютером. В настоящее время в России функционирует набор стандартов, предоставляющих формализованные описания алгоритмов для выделения сигналов из массивов цифровых данных и статистической их обработки. Эти стандарты также устанавливают требования к точности измерений. Примеры разработки измерительных систем, которые полностью соответствуют указанным требованиям, демонстрируют, что такие продукты обычно обладают высокой стоимостью и ограниченной доступностью для широкой аудитории потребителей.

На рис. 1 приводится модель системы для регистрации измерений, в которой используется деятельность экспертов-аудиторов, проводящих энергети-

ческие и электротехнические аудиты на предприятиях разного профиля. Условия таких аудитов обычно довольно строгие, и продолжительность их выполнения может быть значительной при большом числе контролируемых объектов. Применение современных дорогостоящих систем измерений часто оказывается избыточным, в некоторых случаях – недостаточно эффективным и затратным, и также может иметь ограни-

чения, такие как ограниченный диапазон рабочих температур. В ходе исследования принято решение упростить как структурную схему (рис. 1), так и процесс ее воплощения в синтезируемом устройстве.

Структурная схема разрабатываемого регистратора показана на рис. 2.

Сравнение реализации современных цифровых систем регистрации с предлагаемым решением представлено в табл. 1.

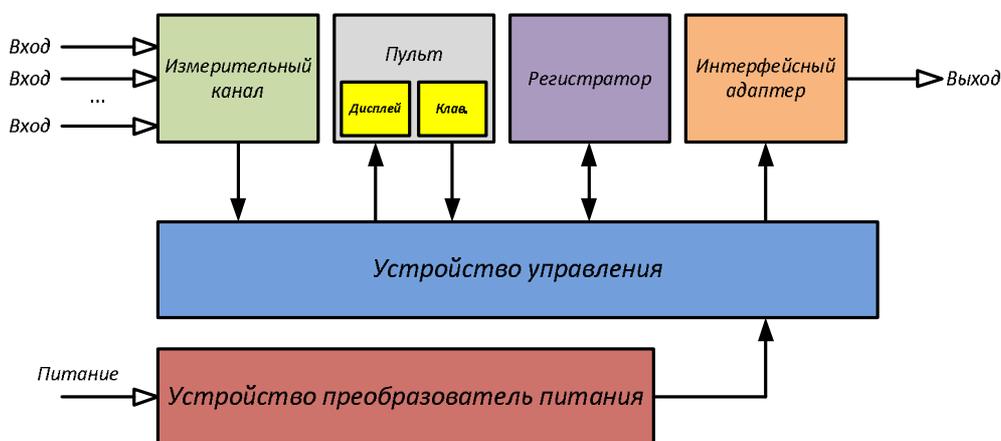


Рис. 1. Обобщенная структурная схема современных цифровых систем регистрации

Fig. 1. Generalized structural scheme of modern digital recording systems

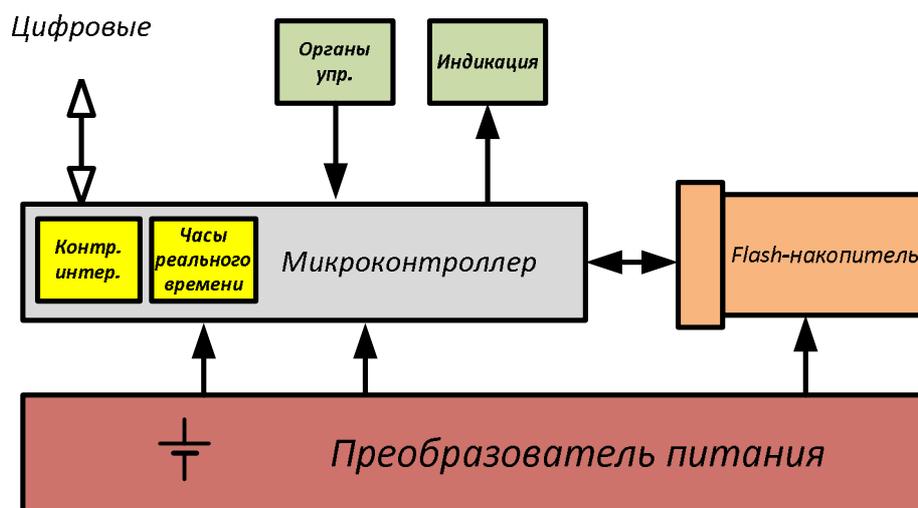


Рис. 2. Структурная схема разрабатываемого регистратора

Fig. 2. Structural diagram of the designed recorder

Таблица 1. Сравнение аналогов и предлагаемого решения

Table 1. Comparison of analogs and the proposed solution

Составляющая часть / The component part	Обобщенная структура современных цифровых регистраторов / The generalized structure of modern digital registrars	Структура разрабатываемого регистратора / The structure of the registrar being developed
Устройство преобразования питания	Есть. Подается внешнее питание, затем необходимые значения питающих напряжений и токов поступают на устройство управления	Есть. Подается внешнее питание, затем необходимые значения питающих напряжений и токов поступают на все составные части системы
Устройство управления	Есть. Основное устройство системы, осуществляющее контроль и управление всеми составными частями системы	Не выделено в отдельный блок. Реализовано с помощью микроконтроллера
Измерительный канал	Есть. Поступают входные данные, которые необходимо измерить	Не выделен в отдельный блок. Реализован с помощью микроконтроллера
Пульт (дисплей + клавиатура)	Есть.	Нет. Убран ввиду необходимости длительной автономной регистрации данных без прямого взаимодействия с пользователем. Присутствуют отдельные светодиоды и кнопки
Регистратор	Есть. Фиксируются необходимые данные измерений	Не выделен в отдельный блок. Реализован с помощью микроконтроллера
Интерфейсный адаптер	Есть. Служит для сопряжения с интерфейсами для сопряжения с устройствами, с которых необходимо анализировать информацию	Не выделен в отдельный блок. Реализован с помощью микроконтроллера. Сохраняется основной алгоритм извлечения измерительных данных из цифровых значений

Основное преимущество разрабатываемого регистратора заключается в его относительной доступности, большая часть компонентов представлены отечественными производителями. Обработка данных на компьютере предоставляет возможность снизить требования к микроконтроллеру регистратора, когда задача сводится к постоянному опросу измеряемой информации и передаче полученных кодов в память [11]. Такой метод регистрации, требующий минимальной обработки, называется «бездумным». Однако для этого понадобятся большие объемы памяти и значительное время на обработку данных уже на компьютере. Этот режим регистрации называется непрерывным. Для экономии энергии батарей и продления сеансов регистрации, регистратор может обрабатывать данные в заранее запрограммированные моменты времени. Регистрация в таком случае осуществляется либо равномерно, либо выборочно по времени. Этот способ регистрации называется зондовым. Известен еще один метод регистрации, позволяющий «экономить» память флэш-накопителя, но требующий большого энергопотребления – сторожевой метод, когда микроконтроллер постоянно опрашивает данные, анализирует результаты преобразований и регистрирует лишь те значения, которые отклоняются от нормы. Важно отметить, что энергопотребление от источника питания может быть оптимизировано при использовании эффективного алгоритма обнаружения аномалий,

который не требует высокой тактовой частоты микроконтроллера.

Микроконтроллеры очень широко применяются в системах измерений [12-14]. Это микропроцессорные устройства сигнализации, включая контроллер мнемощита; микропроцессорные устройства измерения электрических величин, в том числе, счетчики электрической энергии; микроконтроллеры, диагностирующие состояния электрооборудования: электрических машин и аппаратов, высоковольтных вводов, устройств определения места повреждения линии; устройства противоаварийной автоматики и т.п. Среди современных 32-разрядных микроконтроллеров с ядром ARM Cortex-M3 выбор сделан в пользу модели 1986BE92 компании Миландр, которая занимает одну из лидирующих позиций на отечественном рынке. Для решаемой задачи особенно значимыми характеристиками микроконтроллера 1986BE92 являются наличие встроенного USB-контроллера и объем оперативной памяти в размере 32 Кбайт, а также объем программной памяти, равный 128 Кбайт.

В соответствии с целью и задачами исследования в ПО микроконтроллера необходимо реализовать следующие функции:

- 1) реализация информационного обмена по интерфейсу RS-485 [15-17];
- 2) реализация обмена по интерфейсу USB [18-19] для передачи накопленной регистрируемой информации на компьютер;

3) реализация записи, чтения и стирания регистрируемой информации на flash-накопителе;

4) реализация счетчика собственного времени с бесперебойной работой при пропадании питающего напряжения.

Результаты и их обсуждение

На начальном этапе синтеза функциональной схемы необходимо выбрать наиболее оптимальную ее структуру. Предлагаемая схема представлена на рис. 3.

В состав функциональной схемы входят:

– приемопередатчик RS-485 К5559ИН28У компании Миландр;

– 32-битный микроконтроллер К1986ВЕ92QI компании Миландр;

– Flash-накопитель 32 Гбайт совместимый с форматом microSDHC;

– кварцевый резонатор 8 МГц;

– кварцевый резонатор часовой частоты 32,768 кГц.

Микроконтроллер, являющийся составной частью регистратора, содержит управляющую микропрограмму, предназначенную для управления регистратором, а также для связи с компьютером вышестоящего уровня с целью передачи результатов измерения и получения команд управления.

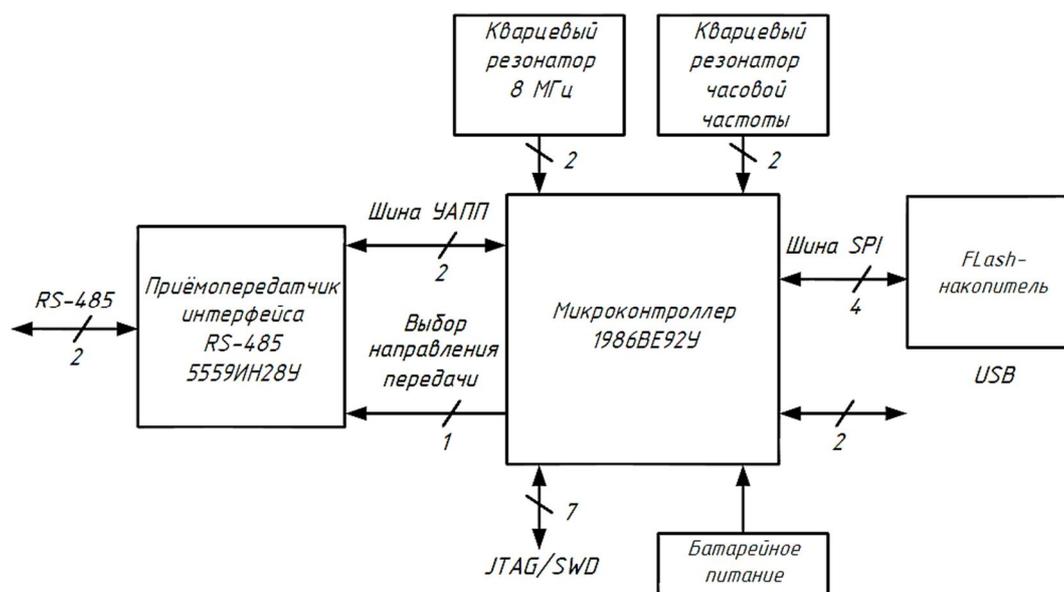


Рис. 3. Функциональная схема разрабатываемого устройства

Fig. 3. Functional diagram of the developed device

Модуль под управлением микропрограммного обеспечения (МПО) должен выполнять следующие функции: реализация протокола информационно-логического обмена по интерфейсу RS-485; реализация обмена по интерфейсу USB 2.0 в режиме MSD и CDC; реали-

зация счетчика собственного времени с бесперебойным питанием; реализация обмена с flash-накопителем по интерфейсу SPI для осуществления записи, чтения и стирания информации на flash-накопителе с объемом до 32 Гбайт. В качестве микроконтроллера, исполня-

ющего МПО, выбран K1986BE92QI, т.к. он имеет встроенный контроллер интерфейса USB с максимальной скоростью передачи информации 12 Мбит/с, что является достаточным для обеспечения доступа к большим объемам данных без предъявления требований к скорости. Взаимодействие с flash-накопителем по интерфейсу SPI для осуществления записи, чтения, стирания информации на flash-накопителе осуществляется через встроенный в 1986BE92U модуль порта синхронной последовательной связи (SSP). Максимальная скорость передачи информации по синхронному последовательному интерфейсу у микроконтроллера K1986BE92QI достигает 25 Мбит/с. Для реализации протокола связи на физическом уровне выбрана микросхема приемопередатчика K5559ИН28У, преимущество которой заключается в полном соответствии стандарту EIA/TIA-485, высокой скорости передачи данных и удобным диапазоном питающего напряжения от 3,0 до 5,5 В. Микроконтроллер 1986BE92U предоставляет возможность организации механизма учета времени внутри кристалла, даже в случае отключения основного источника питания. Блок батарейного домена предназначен для обеспечения функций реального времени и сохранения определенного набора пользовательских данных при выключении основного источника энергии.

Основой устройства является микроконтроллер, входными данными которого являются управляющие команды

согласно протоколу информационно-логического взаимодействия, поступающие по интерфейсу RS-485 (приемный канал UART2, 115200 Бод); управляющие команды, поступающие по интерфейсу USB 2.0. Выходными данными микроконтроллера являются ответные сообщения согласно протоколу информационно-логического взаимодействия, передаваемые по интерфейсу RS-485 (приемный канала UART2, 115200 Бод); ответные сообщения, поступающие по интерфейсу USB 2.0. Механизм отсчета времени в кристалле должен обеспечивать счет времени со стабильностью не хуже 1×10^{-3} с. При снижении основного питающего напряжения в блоке происходит автоматическое переключение питания на батарейное питание.

Для загрузки программы во флэш-память микроконтроллера и для ее последующей отладки требуется использование специализированного программатора-отладчика, в роли которого выступает MT-Link отечественной компании MT-SYSTEM, представленный аналогом известной модели программатора J-Link компании IAR-Systems. MT-Link подключается к компьютеру через USB-кабель и использует интерфейсы для внутрисхемной отладки SWD или JTAG.

В качестве устройства для хранения регистрируемых данных используется SD Memory Card – стандарт карт памяти, разработанный SD Association (SDA) для применения в портативных устройствах. Формат SDHC является эволюцией стандарта SD, наследуя большинство его осо-

бенностей. Максимальный объем памяти карт SDHC увеличен до 32 Гб. В большинстве случаев для организации хранения данных на них используется файловая система FAT32. Специально для использования в DV-рекордерах, мобильных телефонах и аналогичных устройствах разработаны промышленные карты Transcend microSDHC Class 10, оснащенные фирменными чипами MLC NAND Flash для обеспечения надежности и долговечности.

Далее приведем протокол информационно-логического взаимодействия, описывающий обмен информацией между регистратором и сопрягаемым датчиком измерения физических величин. Подробнее распишем процесс взаимодействия регистратора с датчиком:

1. Обмен осуществляется по интерфейсу RS-485 средствами УАПП.

2. Скорость обмена данными – 115200 Бод; режим работы: – 8 бит данных, без контрольного бита, один стоповый бит.

3. Обмен выполняется сообщениями, упакованными в ASCII-кадры.

4. Структура передаваемых в сообщении данных зависит от кода сообщения.

5. Сообщение, передаваемое от регистратора, содержит адрес датчика, код команды, и данные, которые могут отсутствовать, в ответ датчик посылает сообщение, содержащее код ответного сообщения и данные.

6. Датчик принимает от накопителя кадр и выполняет проверку: формата кадра, его длины, кодировки, контроль-

ной суммы. В случае удачной проверки выделяется сообщение и передается на обработку. При физической ошибке (искажен формат кадра, кодировка или ошибка контрольной суммы) сообщение не выделяется и не передается на обработку. При логической ошибке (кадр принят без искажений, но команда не может быть выполнена), датчик посылает ответное сообщение «Статус выполнения команды».

7. В случае приема датчиком корректного сообщения с командой после отработки команды датчик посылает ответное сообщение.

8. В случае, если ответное сообщение от датчика не содержит данных, а только статус принятия команды на выполнение то отсылается ответное сообщение «Статус выполнения команды» с кодом «Команда принята на выполнение».

9. При получении датчиком команды в момент выполнения предыдущей команды датчик выдает ответное слово с кодом «Датчик занят обработкой команды». В таком случае регистратор должен повторить сообщение позже, когда датчик освободится, выполнение команды датчиком при этом игнорируется.

10. Для проверки связи с датчиком применяется команда «Прочитать версию ПО».

11. Работа регистратора с датчиком должна начинаться с чтения идентификаторов командой «Прочитать идентификатор». Отсутствие полученного идентификатора считается ошибкой. Если идентификатор датчика опознан, то следую-

щей командой должна идти команда «Инициализировать датчик».

12. Для получения измерительных данных от датчика, регистратору необходимо отправить команду «Запуск/останов процесса преобразования» и считать с периодичностью измерительные данные командой «Прочитать измерительные данные».

13. В случае, если необходимо инициализировать датчик и в случае, если датчик находится в процессе преобразования, регистратору необходимо остановить процесс, отправив команду «Запуск/останов процесса преобразования» затем инициализировать датчик в соответствии с п 11 и запустить процесс преобразования в соответствии с п. 12.

Теперь кратко опишем процесс взаимодействия с разработанным прикладным программным обеспечением (ППО), предназначенным для получения результатов измерения и отправки команд управления на микроконтроллер. ППО разработано на основе фреймворка Qt – кроссплатформенного инструментария для создания ППО на языке программирования C++. Данная версия программы разработана на Qt версии 5.12, имеющей возможность работать со встроенной библиотекой ModbusRTU [20], с помощью которой обеспечена работа по протоколу передачи информации между ПЭВМ и микроконтроллером. Программа работает на компьютере под управлением ОС Windows 7 и

выше. Для установки ППО нужно скопировать содержимое с ППО на компьютер в выбранную директорию, после чего следует запустить исполняемый файл GraphReg.exe. При старте ППО откроется главное окно, приведенное на рис. 4 и состоящее из следующих частей: всплывающего меню, расположенного в левом верхнем углу главного окна программы; поля соединения, расположенного под всплывающим меню; поля настройки команд, расположенного под полем соединения в левой части программы; поля отображения данных, расположенного под полем соединения в правой части программы; поля операций, расположенного в нижней части программы под полями настройки команд и отображения данных.

Всплывающее меню состоит из двух элементов «Устройство» и «Настройка». При нажатии на кнопку всплывающего меню «Устройство», отобразятся следующие пункты: «Подключение», при нажатии на которую произойдет попытка соединения с сервером по выбранным в поле соединения типом соединения, портом и адресом сервера; «Разъединение», при нажатии на которую происходит разъединение с текущим соединением (при старте данная кнопка недоступна); «Выход», при нажатии на которую происходит выход из программы.

Пример работы программы приведен на рис. 5.

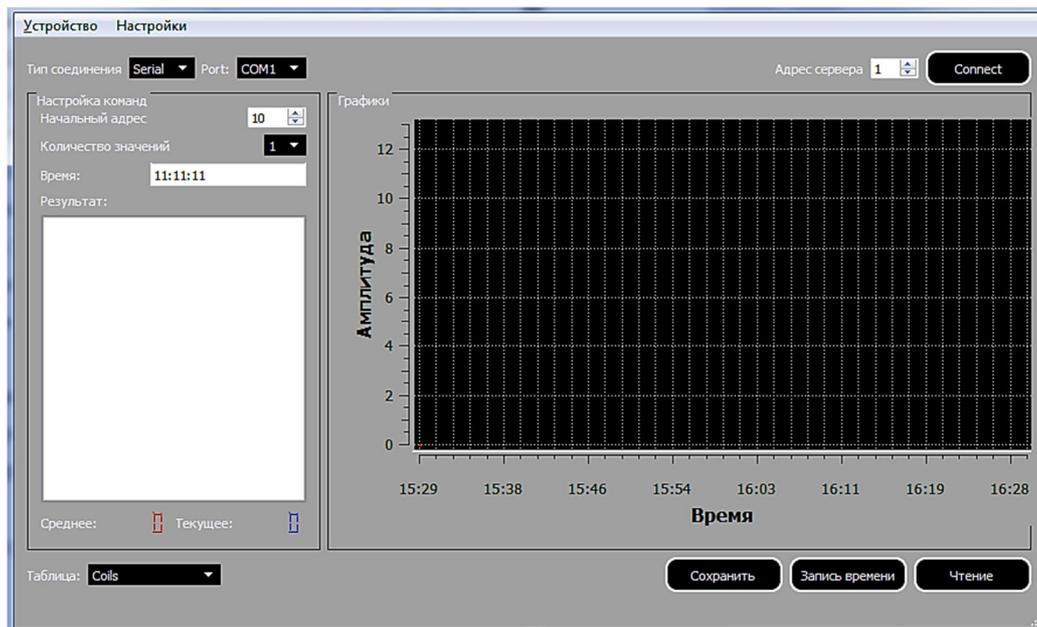


Рис. 4. Главное окно программы

Fig. 4. Main window of the program

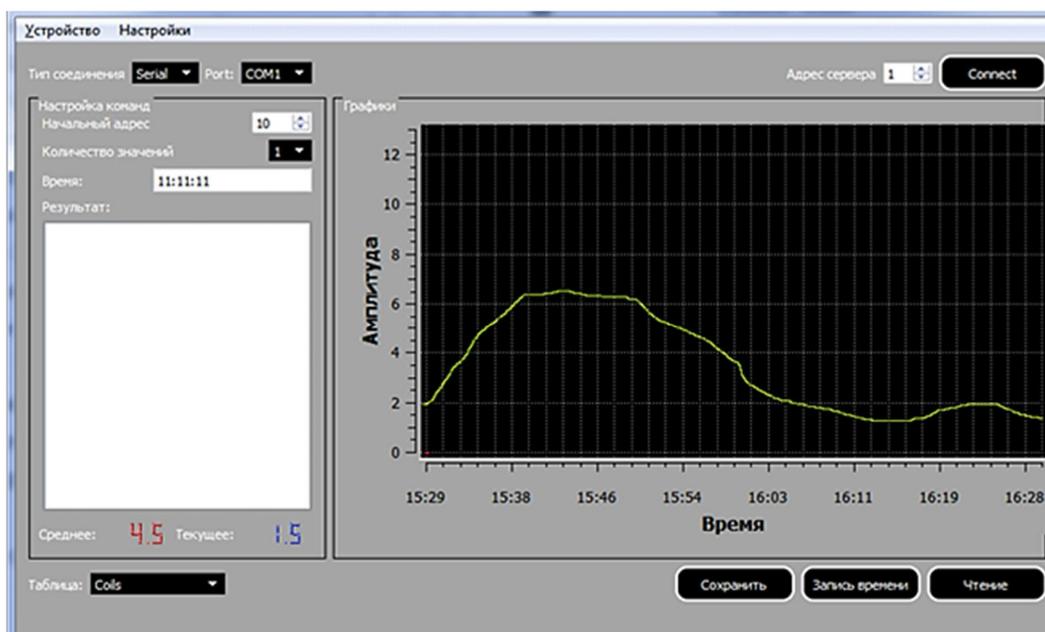


Рис. 5. Пример работы программы

Fig. 5. Example of program work

Выводы

В данной статье нами предложен вариант реализации цифрового устройства, предназначенного для цифровой регистрации с функцией записи изменительной информации на карту памяти

формата SDHC. Работа устройства состоит в обеспечении регистрации информации, поступающей по каналу RS-485, с сохранением регистрируемой информации в виде файлов на карту памяти формата SDHC.

Доступ к регистрируемой информации производится с персонального компьютера через интерфейс USB 2.0 в режиме запоминающего устройства посредством программного драйвера, реализованного в микроконтроллере отечественного производства 1986BE92Т компании Миландр. Инициализация устройства осуществляется с помощью персонального компьютера, через драйвер

реализующий аппаратный мост USB-UART по стандарту USB 2.0. Разработано текстовое описание встроенного программного обеспечения микроконтроллера на языке Си.

Областью применения устройства являются специализированные вычислительные системы, предназначенные для цифровой регистрации поступающей информации.

Список литературы

1. Модельно-ориентированное проектирование при разработке встраиваемого программного обеспечения блоков управления в автомобильной промышленности / Е.И. Торопов, А.С. Вашурин, А.В. Тумасов, А.Д. Яржемский // Известия МГТУ МАМИ. 2019. № 3 (41). С. 80-85.
2. Mathematical model of reliability of information processing computer appliances for real-time control systems / A.V. Aab, P.V. Galushin, A.V. Popova, V.A. Terskov // Siberian Journal of Science and Technology. 2020. Vol. 21. № 3. Pp. 296-302.
3. Panarin O., Zacharov I. Monitoring mobile information processing systems // Russian Digital Libraries Journal. 2020. Vol. 23. № 4. Pp. 835-847.
4. Шилдт Герберт. С++: полное руководство: классическое издание: [пер. с англ.]. М.: Диалектика; СПб.: Диалектика, 2020. 796 с.
5. Саммерфилд Марк. Qt. Профессиональное программирование: разработка кроссплатформенных приложений на С++ / пер. с англ. А. Слинкина. СПб., М.: Символ-Плюс, 2018. 560 с.
6. Клеменс Бен. Язык С в XXI веке/ пер. с англ. А. А. Слинкина. М.: ДМК Пресс, 2015. 376 с.
7. Лукьянчиков А.В., Нестеренко А.И. Кроссплатформенное программирование доверенных микроконтроллеров 1986BE92 // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. 2022. № 5. С. 87.
8. Благодаров А.В., Владимиров Л.Л. Программирование микроконтроллеров на основе отечественных микросхем семейства 1986BE9х разработки и производства компании Миландр. М.: Миландр, 2016. 242 с.
9. Васильев А. Е. Встраиваемые системы автоматики и вычислительной техники. Микроконтроллеры. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 590 с.
10. Мотало Р.В., Брагин А.Н. Импортзамещение на рынке электронных компонентов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 1. С. 27-29.

11. Васенев А.А., Сорокин С.А. Организация внешнего файлового обмена для портативного электронного устройства на базе микроконтроллера // *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2022. № 4. С. 19-26.
12. Кочетков В.В., Зобнин Б.Б. Проблемы и перспективы использования микроконтроллеров в АСУ ТП // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики*. Серия: Естественные и технические науки. 2019. № 11. С. 81-85.
13. Осолинский А.Р., Кочан О.В. Стенд исследования методических погрешностей системы измерения среднего энергопотребления микроконтроллеров // *Вестник Брестского государственного технического университета. Физика, математика, информатика*. 2015. № 5 (95). С. 6-10.
14. Железняк О.А. Применение микроконтроллеров для измерения параметров системы электроснабжения воздушных судов // *Гагаринские чтения-2017: тезисы докладов*. М., 2017. С. 942-943.
15. Новая микросхема приемопередатчика для интерфейса RS-485 компании АО "ПКК Миландр" / Д. Колесников, Е. Сухотерин, В. Богданов, Ю. Павлюк, А. Тучин // *Электроника: Наука, технология, бизнес*. 2021. № 4 (205). С. 80-87.
16. Тягульская Л.А., Дубинин И.А. Организация двусторонней связи с микроконтроллерами по интерфейсу RS-485 // *International Scientific Review*. 2016. № 1 (11). С. 34-36.
17. Щербаков А.А. Рекомендации по выбору схемы соединений для сетей на основе RS-485 // *Научно-Исследовательский Центр "Science Discovery"*. 2022. № 11. С. 573-576.
18. Лих В. USB-накопители информации корпоративного и промышленного класса // *Электроника: Наука, технология, бизнес*. 2022. № 3 (214). С. 110-113.
19. Субботин Н.Ю., Селиванов К.В. Анализ перспектив применения интерфейса USB // *Технологии инженерных и информационных систем*. 2021. № 4. С. 60-69.
20. Demchenko V.V., Obukhov P.S., Ivliev E.A. Development of a software and hardware solution for monitoring and control of the greenhouse microclimate by RS-485 bus with MODBUS RTU interface // *European Journal of Natural History*. 2021. № 6. pp. 66-69.

References

1. Toropov E.I., Vashurin A.S., Tumasov A.V., Yarzhemskiy A.D. Model'no-orientirovannoe proektirovanie pri razrabotke vstraivaemogo programmnoho obespecheniya blokov upravleniya v avtomobil'noi promyshlennosti [Model-oriented design in the development of embedded software for control units in the automotive industry]. *Izvestiya MSTU MAMI*. 2019, no. 3 (41), pp. 80-85.
2. Aab A.V., Galushin P.V., Popova A.V., Terskov V.A. Mathematical model of reliability of information processing computer appliances for real-time control systems. *Siberian Journal of Science and Technology*, 2020, vol. 21, no. 3, pp. 296-302.

3. Panarin O., Zacharov I. Monitoring mobile information processing systems. *Russian Digital Libraries Journal*, 2020, vol. 23. no. 4, pp. 835-847.

4. Schildt Herbert. *S++: polnoe rukovodstvo* [C++: complete guide]. Moscow; St. Petersburg, Dialectics Publ., 2020. 796 p.

5. Summerfield Mark. Qt. *Professional'noe programmirovaniye: razrabotka krossplatformennykh prilozhenii na S++*. [Professional programming: development of cross-platform applications in C++]. St. Petersburg; Moscow: Symbol-Plus; 2018. 560 p.

6. Clemens Ben. *Yazyk C v XXI veke* [Language C in the XXI century]. Moscow, DMK Press Publ., 2015. 376 p.

7. Lukyanchikov A.V., Nesterenko A.I. Krossplatformennoye programmirovaniye doverennykh mikrokontrollerov 1986VE92 [Cross-platform programming of trusted microcontrollers 1986BE92]. *Sovremennyye problemy radioelektroniki i telekommunikatsii = Modern Problems of Radio Electronics and Telecommunications*, 2022, no. 5, p. 87.

8. Blagodarov A.V., Vladimirov L.L. *Programmirovaniye mikrokontrollerov na osnove otechestvennykh mikroskhem semeistva 1986VE9x razrabotki i proizvodstva kompanii Milandr* [Programming of microcontrollers based on domestic microchips of 1986BE9x family developed and produced by Milandr]. Moscow, Milandr Publ., 2016. 242 p.

9. Vasiliev A. E. *Vstraivaemye sistemy avtomatiki i vychislitel'noi tekhniki. Mikrokontrollery* [Embedded systems of automatics and computer engineering. Microcontrollers]. Moscow, Goryachaya Liniya-Telecom Publ., 2018, 590 p.

10. Motalo R.V., Bragin A.N. Importozameshcheniye na rynke elektronnykh komponentov [Import substitution in the market of electronic components]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*, 2023, no. 1, pp. 27-29.

11. Vasenev A.A. Sorokin S.A. Organizatsiya vneshnego failovogo obmena dlya portativnogo elektronnoyego ustroystva na baze mikrokontrollera [Organization of the external file exchange for the portable electronic device based on the microcontroller]. *Promyshlennyye ASU i kontrollery = Industrial ACS and Controllers*, 2022, no. 4, pp. 19-26.

12. Kochetkov V.V. Zobnin B.B. Problemy i perspektivy ispol'zovaniya mikrokontrollerov v ASU TP [Problems and perspectives of microcontrollers use in ACS]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennyye i tekhnicheskie nauki = Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences*. 2019, no. 11, pp. 81-85.

13. Osolinsky A.R., Kochan O.V. Stend issledovaniya metodicheskikh pogreshnostei sistemy izmereniya srednego energopotrebleniya mikrokontrollerov [Research bench of the methodical errors of the system for measuring the average power consumption of the microcontrollers]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Fizika, matematika, informatika = Vestnik of Brest State Technical University. Physics, Mathematics, Informatics*, 2015, no. 5 (95), pp. 6-10.

14. Zheleznyak O.A. [Application of microcontrollers for measuring parameters of aircraft power supply system]. *Gagarinskie chteniya 2017. Tezisy dokladov* [Gagarin readings 2017. Theses of reports]. Moscow, 2017, pp. 942-943 (In Russ.).

15. Kolesnikov D., Sukhoterina E., Bogdanov V., Pavlyuk Y., Tuchin A.. Novaya mikroshema priemopredatchika dlya interfeisa RS-485 kompanii AO "PKK Milandr" [New transceiver chip for RS-485 interface of the company "PKK Milandr"]. *Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes = JSC. Electronics: Science, Technology, Business*, 2021, no. 4 (205), pp. 80-87.

16. Tyagul'skaya L.A., Dubinin I.A. Organizatsiya dvustoronnei svyazi s mikrokontrollerami po interfeisu RS-485 [Organization of two-way communication with microcontrollers via RS-485 interface]. *International Scientific Review*, 2016, no. 1 (11), pp. 34-36.

17. Scherbakov A.A. Rekomendatsii po vyboru skhemy soedinenii dlya setei na osnove RS-485 [Recommendations on the connection scheme selection for the RS-485-based networks]. *Nauchno-Issledovatel'skii Tsentr "Science Discovery" = Scientific Research Center "Science Discovery"*, 2022, no. 11, pp. 573-576.

18. Lih V. USB-nakopiteli informatsii korporativnogo i industrial'nogo klassa [USB information storage devices of corporate and industrial class]. *Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes = Electronics: Science, Technology, Business*, 2022, no. 3 (214), pp. 110-113.

19. Subbotin N.Yu., Selivanov K.V. Analiz perspektiv primeneniya interfeisa USB [Analysis of the USB interface application perspectives]. *Tekhnologii inzhenernykh i informatsionnykh sistem = Engineering and Information Systems Technologies*, 2021, no. 4, pp. 60-69.

20. Demchenko V.V., Obukhov P.S., Ivliev E.A. Development of a software and hardware solution for monitoring and control of the greenhouse microclimate by RS-485 bus with MODBUS RTU interface. *European Journal of Natural History*, 2021, no. 6, pp. 66-69.

Информация об авторах / Information about the Authors

Мартышкин Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Программирование», Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Российская Федерация, e-mail: mai@penzgtu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3358-4394>

Alexey I. Martyshkin, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of Software Department, Penza State Technological University, Penza, Russian Federation, e-mail: mai@penzgtu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3358-4394>

Данилов Евгений Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Программирование», Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Российская Федерация, e-mail: danilov@penzgtu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4114-7036>

Evgeniy A. Danilov, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of Software Department, Penza State Technological University, Penza, Russian Federation, e-mail: danilov@penzgtu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4114-7036>