

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 681.518.3: 004.422.8:621.398

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-1-75-81>

Алгоритм разработки программного обеспечения беспроводной системы мониторинга температуры сельскохозяйственных объектов

А.В. Вострухин¹, М.А. Мастепаненко², И.Н. Воротников³, Е.А. Вахтина⁴^{1,2,3,4} Ставропольский государственный аграрный университет; г. Ставрополь, Россия¹ avostrukhin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2310-2339>² mma_26@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0335-8791>³ vorotn_in@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8402-7803>⁴ eavakhtina@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8066-6659>

Аннотация. При проектировании цифровых систем наиболее сложным и не поддающимся автоматизации является процесс разработки программного обеспечения, который занимает 85...95% от общей трудоемкости. В статье рассматривается пример разработки программного обеспечения для реализации бюджетной беспроводной системы мониторинга температуры объектов АПК с использованием нелицензируемых ISM-диапазонов радиочастот. Используемый алгоритм восходящего программирования позволяет снизить порог входа по приобретению знаний в области структурного программирования. Приведены примеры простого тестирования программных модулей с использованием интегрированной среды разработки IDE Arduino. Созданы экспериментальные образцы передающей и принимающей подсистем, необходимые для разработки, отладки и исследования программного обеспечения. Аппаратное обеспечение реализовано на базе платформы Arduino, передатчиков (трансиверов) NRF24L01+PA+LNA и цифровых датчиков температуры DS18B20. Радиус обмена данными между передающей и принимающей подсистемами в условиях прямой видимости при максимальной мощности передатчика и скорости передачи данных 250 Кбит/с составил 800...900 м. При передаче 8 байт полезных данных, то есть текущей температуры двух датчиков с интервалом в 1 с, средний потребляемый передающей подсистемой ток составил 22 мА.

Ключевые слова: Arduino, микроконтроллер, передающая, подсистема, принимающая, радиоканал, температура

Благодарности. Исследования выполнены в рамках программы поддержки развития научных коллективов Ставропольского государственного аграрного университета, реализуемой при финансовой поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Для цитирования: Вострухин А.В., Мастепаненко М.А., Воротников И.Н., Вахтина Е.А. Алгоритм разработки программного обеспечения беспроводной системы мониторинга температуры сельскохозяйственных объектов // *Агроинженерия*. 2025. Т. 27. № 1. С. 75-81. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-1-75-81>

ORIGINAL ARTICLE

Algorithm of software development for a wireless system monitoring the temperature of agricultural premises

A.V. Vostrukhin¹, M.A. Mastepanenko², I.N. Vorotnikov³, E.A. Vakhtina⁴^{1,2,3,4} Stavropol State Agrarian University; Stavropol, Russia¹ avostrukhin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2310-2339>² mma_26@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0335-8791>³ vorotn_in@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8402-7803>⁴ eavakhtina@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8066-6659>

Abstract. The most complex and impossible to automate process in the digital system designing is software development, which takes up 85 to 95% of the total labor intensity. The article discussed the development of software for implementing a low-cost wireless temperature monitoring system using unlicensed ISM ("industrial, scientific and medical") radio frequency bands. The proposal is to use a bottom-up programming algorithm, which reduces the entry threshold for acquiring knowledge in the field of structured programming. The authors provide examples of simple testing of software modules using the Arduino IDE. The authors have developed experimental samples of the transmitting and receiving subsystems necessary for software development, debugging and research. The hardware is based on the Arduino platform, NRF24L01+PA+LNA transceivers and DS18B20 digital

temperature sensors. The data exchange radius between the transmitting and receiving subsystems in line-of-sight conditions with a maximum transmitter power and a data transfer rate of 250 Kbit/s was between 800 and 900 m. When transmitting eight bytes of useful data, i.e. the current temperature of two sensors with an interval of one second, the average current consumed by the transmitting subsystem was 22 mA.

Keywords: Arduino, microcontroller, transmitting, subsystem, receiving, radio channel, temperature

Acknowledgments: The research was carried out within the framework of the program to support the development of research teams of Stavropol State Agrarian University, implemented with the financial support of the Strategic Academic Leadership Program “Priority-2030”.

For citation: Vostrukhin A.V., Mastepanenko M.A., Vorotnikov I.N., Vakhtina E.A. Algorithm of software development for a wireless system monitoring the temperature of agricultural premises. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(1):75-81 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-1-75-81>

Введение

Использование искусственного интеллекта (AI) и интернета вещей (IoT) в сельскохозяйственных технологиях повышает эффективность сельского хозяйства [1]. При этом возникают проблемы в поисках экспертов и профессионалов с цифровыми компетенциями по внедрению AI и IoT в сельское хозяйство, а также эксплуатации новых технологических операций с их использованием [2]. Системы AI и IoT работают под управлением программного обеспечения (ПО). Умения и навыки программирования – актуальная составляющая инженерной деятельности, о чем писал профессор Оксфордского университета Ч.А.Р. Хоар: «...программирование... подобно открытию законов Ньютона и дифференциального исчисления...» [3]. В докладе «Программирование – вторая грамотность» академик А.П. Ершов подчеркивал: «...даже обучение, то есть приобретение знаний или, скорее, способности что-то сделать, – это программирование...» [4].

Проблема заключается в отсутствии оптимизированных алгоритмов разработки ПО для систем реального времени, которые сложнее систем виртуального времени, так как содержат модули обработки информации, поступающей от датчиков.

В сельском хозяйстве часто требуется непрерывный контроль температуры. Измерение температуры почвы на разных глубинах необходимо для принятия правильных агротехнических решений, а также для корректировки температурной погрешности, возникающей при измерении влажности почвы диэлектрическим методом, основанном на использовании зависимости диэлектрической проницаемости почвы от количества находящейся в ней воды. В работе [5] приводится описание пятиканального скважинного влагомера почвы, в котором температура измеряется на глубине 10, 20, 30, 50 и 100 см от поверхности почвы. Известны почвенные станции для мониторинга температуры, влажности и засоленности почвы

фирмы Sentek Technologies¹, в которых через каждые 10 см измеряется температура почвы до глубины 120 см. Известны беспроводные системы мониторинга (БСМ), построенные с использованием БПЛА для сбора информации о состоянии почвы, в том числе температуры [6].

Цель исследований: разработать алгоритм проектирования программного обеспечения подсистемы нижнего уровня структуры интернета вещей на примере БСМ температуры сельскохозяйственных объектов, позволяющий снизить сложность и трудоемкость процесса ее разработки.

Материалы и методы

Использовались методы проектирования программируемых систем реального времени (встраиваемых систем), в том числе модульного программирования в интегрированной среде разработки (IDE) Arduino, и осциллографические методы исследования программного и аппаратного обеспечения.

В статье рассматривается алгоритм разработки ПО для беспроводной системы мониторинга, которая может быть применена в системах контроля температуры объектов АПК без подключения к Интернету. Максимальный радиус действия экспериментального образца БСМ в условиях прямой видимости составил 900 м.

В рассматриваемой БСМ использовали экспериментальные образцы (рис. 1) передающей, построенной на Arduino Uno (рис. 1, слева), и принимающей – на Arduino Nano (рис. 1, справа), подсистем, разработанные ранее для мониторинга влажности и температуры почвы [7, 8]. Между этими подсистемами находится радиомодуль NRF24L01+PA+LNA без антенны.

Разработка ПО выполнена в интегрированной среде IDE Arduino (версия 1.8.15), которая доступна

¹ Датчики почвенных данных. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sentektechnologies.com/products/soil-data-probes/> (дата обращения: 01.06.2024).

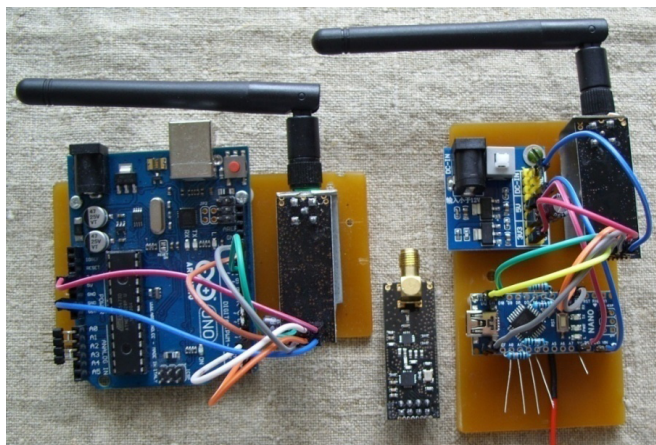


Рис. 1. Принимающая и передающая подсистемы беспроводной системы мониторинга влажности и температуры почвы

Fig. 1. Receiving and transmitting subsystems of a wireless soil moisture and temperature monitoring system

для скачивания с сайта разработчика². Руководство по разработке систем измерения температуры на основе платформы Arduino и датчика DS18B20 приведено в информационном ресурсе³.

ПО передающей подсистемы реализует три функции: измерение температуры цифровых датчиков, вывод на монитор измеряемой температуры и передача данных о температуре в радиомодуль.

Результаты и их обсуждение

Анализ технологий беспроводной передачи данных от автономных датчиков и возможностей их использования инженерами АПК показал, что для создания бюджетных БСМ в большей степени подходят радиомодули с использованием нелицензируемых ISM («industrial, scientific and medical», «промышленный, научный и медицинский») диапазонов радиочастот. Выполненный в работе [9] анализ БСМ показал, что лучшим вариантом для построения бюджетных БСМ является их реализация на платформе Arduino. В работе [10] рассматривается система, в которой микроконтроллерное устройство Arduino Uno совместно с инфракрасным датчиком положения позволяет считывать и вычислять частоту вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания. В работе [11] отражены выполненные исследования, которые показали, что радиомодули

NRF24L01+PA+LNA⁴ могут быть использованы для решения достаточно сложных задач. Таким образом, свободно доступные инструменты и средства платформы Arduino используются как для реализации проектов научно-исследовательского характера [12], так и для практической цифровизации объектов сельского хозяйства [13].

Рассмотрим алгоритм разработки ПО для БСМ – например, температуры зерна при его хранении. БСМ состоит из двух систем: передающей и принимающей. Передающая подсистема (рис. 2) содержит несколько цифровых датчиков температуры DS18B20, размещенных в объеме зерна, хранимого насыпью или в силосе. Датчики температуры S1...Sn подключены к микроконтроллерному устройству Arduino Nano (MCU), которое отправляет на радиомодуль RF (NRF24L01+PA+LNA) данные, считываемые с этих датчиков. Передающая подсистема находится в зернохранилище и может быть запитана от сети 220 В с использованием стандартного источника питания с выходным напряжением 6...12 В постоянного тока.

Принимающая подсистема БСМ устроена аналогично передающей, только без датчиков, и подключена к компьютеру через USB-интерфейс. Принимающая подсистема реализована на Arduino Uno, которое снабжено понижающим до 3.3 В стабилизатором напряжения, обеспечивающим необходимый ток для питания радиомодуля RF.

Предлагаем алгоритм, позволяющий разделить разрабатываемое ПО на отдельные модули для их анализа и синтеза. Рассмотрим алгоритм

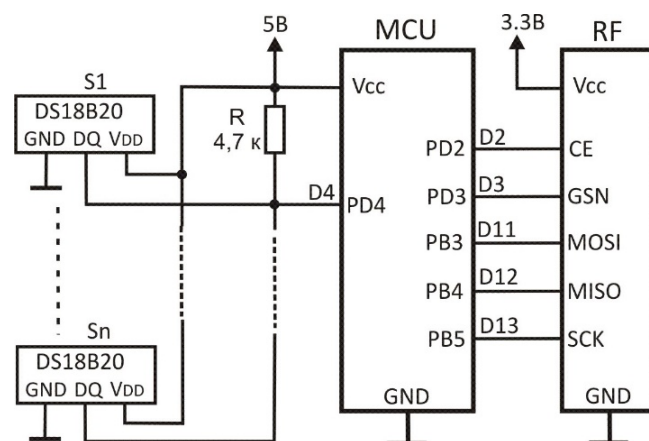


Рис. 2. Схема передающей подсистемы беспроводной системы мониторинга температуры

Fig. 2. Structural diagram of the transmitting subsystem for a wireless temperature monitoring system

² Программное обеспечение. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.arduino.cc/en/software/OldSoftwareReleases> (дата обращения: 01.06.2024).

³ Полное руководство по DS18B20 цифровых датчиков температуры с помощью Arduino. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.makerguides.com/ds18b20-arduino-tutorial/> (дата обращения: 01.06.2024).

⁴ Радиомодуль NRF24L01+PA+LNA 2.4G (Trema-модуль V2.0). [Электронный ресурс]. URL: <https://wiki.iarduino.ru/page/NRF24L01-trema/> (дата обращения: 01.06.2024).

разработки ПО, то есть последовательность шагов от модуля к модулю для БСМ, состоящей только из двух датчиков температуры DS18B20.

Шаг 1. Разработка модуля ПО вывода на монитор констант типа float, введенных пользователем в программу для ее отладки.

На рисунке 3 представлен модуль, позволяющий отладить вывод на монитор констант $T1 = 11.01$ и $T2 = 22.02$, введенных для имитации температуры, соответственно, первого и второго датчиков. Введенные в программу массивы `massiv [0]` и `massiv [1]` будут использованы в следующих модулях для передачи по радиоканалу данных о температуре. Модуль реализует функцию, позволяющую контролировать передаваемые данные.

Для хранения каждой константы типа float требуется по 4 байта. Массив (строка 1) предназначен для хранения 8 байт. Задержка в 1000 мс (строка 8) необходима для ожидания, когда преобразования в датчиках будут выполнены, так как на преобразование с разрешающей способностью в 0,065 градуса (12 бит) датчик затрачивает 750 мс. Вывод на монитор введенных констант с интервалом в 980 мс показан на рисунке 4.

Шаг 2. Разработка программного кода для измерения температуры и вывода ее значений на монитор.

К отлаженному коду для работы с датчиками DS18B20 (рис. 5) необходимо подключить библиотеку `Dallas Temperature.h` (строка 1). В строках 5 и 6 переменным «`sensor1`» и «`sensor2`» присвоены 64-битные адреса. Строки 16 и 18 объединяют код модуля, приведенного на рисунке 3, в строках 10-12 и 14-16.

На рисунке 6 показан вывод на монитор текущего времени и температуры первого ($T1$) и второго ($T2$) датчиков, расположенных на расстоянии 3 мм друг от друга в воздушной среде.

Шаг 3. Разработка программного кода для передачи по радиоканалу констант, введенных в программу для ее отладки (рис. 7).

Для питания передающей подсистемы использован понижающий преобразователь DC-DC до 3.3 В и 5 В, построенный на двух интегральных стабилизаторах AMS1117 (рис. 8). Модуль размером 45×45 мм имеет входное напряжение от 6 до 12 В, максимальный ток нагрузки 800 мА на канал. На плате установлена кнопка включения, гнездо входного напряжения под штекер – 5.5×2.1 мм.

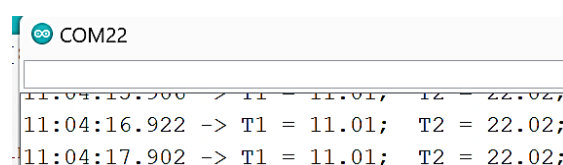
На рисунке 9 представлена осциллограмма напряжения, измеряемого на резисторе сопротивлением 1 Ом, включенном последовательно в цепь питания передающей подсистемы (на рисунке 2 этот резистор не показан). При напряжении

```

1 float massiv[8]; //Объявить массив для хранения 8 байт данных.
2 void setup()
3 {
4   Serial.begin(9600);
5 }
6 void loop()
7 {
8   delay(1000); //Задержка 1000 мс.
9   massiv[0] = 11.01; //Записать в массив число, имитирующее
10  Serial.print("T1 = "); //температуру первого датчика и
11  Serial.print(massiv[0]); //вывести его на монитор.
12  Serial.print("; ");
13  massiv[1] = 22.02; //Записать в массив число, имитирующее
14  Serial.print("T2 = "); //температуру второго датчика и
15  Serial.print(massiv[1]); //вывести его на монитор.
16  Serial.println(";");
17 }
```

Рис. 3. Модуль ПО вывода на монитор констант, имитирующих значения температуры первого и второго датчиков

Fig. 3. Software module for outputting constants simulating the temperature values of the first and second sensors to the monitor



The screenshot shows a serial monitor window titled 'COM22'. It displays three lines of data: a timestamp '11:04:13.900', a separator line '---', and two lines of temperature data: '11:04:16.922 -> T1 = 11.01; T2 = 22.02;' and '11:04:17.902 -> T1 = 11.01; T2 = 22.02;'. The data is formatted with spaces and semicolons to separate the time, temperature values, and the sensor identifiers T1 and T2.

Рис. 4. Вывод на монитор времени и констант, имитирующих температуры первого ($T1$) и второго ($T2$) датчиков

Fig. 4. Output to the monitor of time and constants simulating temperatures of the first ($T1$) and second ($T2$) sensors

```

1 #include <DallasTemperature.h> //Подключить библиотеку для работы с датчиками
2 float massiv[8];
3 OneWire oneWire(4); //В OneWire 4й вывод Arduino, к которому подключена шина OneWire
4 DallasTemperature ds(&oneWire); //Передать в DallasTemperature номер вывода OneWire
5 DeviceAddress sensor1 = {0x28, 0x2E, 0x42, 0xAB, 0x06, 0x00, 0x00, 0x3D}; //Адрес 1
6 DeviceAddress sensor2 = {0x28, 0xFF, 0xC2, 0x9E, 0x66, 0x14, 0x03, 0x5C}; //Адрес 2
7 void setup()
8 {
9     Serial.begin(9600);
10 }
11 void loop()
12 {
13     ds.requestTemperatures(); //Запрос всем датчикам на измерение температуры
14     delay(1000);
15     massiv[0] = (ds.getTempC(sensor1)); //Считать в massiv[0] температуру датчика 1
16     Serial.print("T1 = "); Serial.print(massiv[0]); Serial.print("; ");
17     massiv[1] = (ds.getTempC(sensor2)); //Считать в massiv[1] температуру датчика 2
18     Serial.print("T2 = "); Serial.print(massiv[1]); Serial.println(";");
19 }

```

Рис. 5. Программный код для отладки модуля измерения температуры и вывода ее значений на монитор

Fig. 5. Code for debugging the temperature measurement module and displaying its values on the monitor

на резисторе $V_{\max} = 179$ mV, потребляемый передающей подсистемой ток – 179 mA в течение времени 1.38 мс (+Width = 1.38 ms). Средний ток, потребляемый за период 42.1 мс – (Period = 42.1 ms), 24.2 mA – ($V_{\text{mean}} = 24.2$ mV). Экспериментальный метод по определению значения тока, потребляемого передающей подсистемой, необходим для расчетов времени ее работы в автономном режиме от одного комплекта батарей и решения задач минимизации энергопотребления.

В работе [14] предложен протокол, позволяющий обеспечить энергосбережение при передаче

```

19:47:52.570 -> T1 = 24.62; T2 = 24.50;
19:47:54.261 -> T1 = 24.62; T2 = 24.50;
19:47:55.985 -> T1 = 24.56; T2 = 24.50;

```

Рис. 6. Вывод на монитор текущего времени и температуры первого (T1) и второго (T2) датчиков

Fig. 6. Displaying the current time and temperature of the first (T1) and second (T2) sensors on the monitor

```

1 #include <SPI.h> //Подключить библиотеку для работы с шиной SPI.
2 #include <nRF24L01.h> //Подключить файл настроек из библиотеки RF24.
3 #include <RF24.h> //Подключить библиотеку для работы с модулем nRF24L01.
4 RF24 radio(2, 3); //Выводы Arduino, к которым подключены выводы CE, CSN nRF24L01.
5 float massiv[8];
6 void setup()
7 { radio.begin (); //Инициализировать работу модуля nRF24L01.
8   radio.setChannel (25); //Задать канал передачи данных (от 0 до 125).
9   radio.setDataRate (RF24_250KBPS); //Задать скорость передачи данных 250 Кбит/с.
10  radio.setPALevel (RF24_PA_MAX); //Задать максимальную мощность передатчика.
11  radio.openWritingPipe (0xAABBCCDD11LL); //Адрес приемника, которому передавать.
12 }
13 void loop()
14 {
15     delay(1000);
16     massiv[0] = 11.01; //Записать в первый массив константу.
17     massiv[1] = 22.02; //Записать во второй массив константу.
18     radio.write(massiv, 8); //Передать 2 массива по 4 байта, всего 8 байт
19 }

```

Рис. 7. Модуль отладки для передачи констант, имитирующих температуру

Fig. 7. Debug module for passing constants simulating temperature

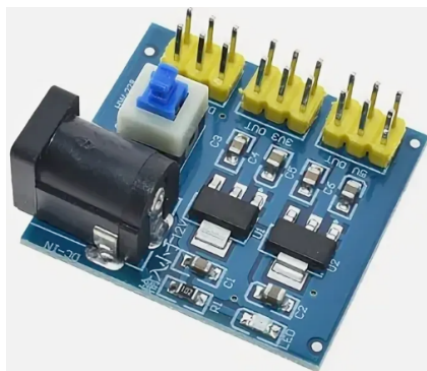


Рис. 8. Модуль питания с выходным напряжением 5 В и 3.3 В

Fig. 8. Power module with 5V and 3.3V output voltage

данных по радиоканалу, а следовательно, продлить срок службы автономных источников питания для беспроводных датчиков. Данный протокол может быть использован в качестве альтернативного варианта управления передачей данных по радиоканалу.

Выводы

Экспериментальные исследования разработанной БСМ показали, что предлагаемый алгоритм позволяет выполнить разделение ее ПО на отдельные модули для анализа и синтеза аппаратного и программного

Список источников

1. Adli H.K., Remli M.A., Wan Salihin Wong K.N.S., Ismail N.A., González-Briones A., Corchado J.M., Mohamad M.S. Recent Advancements and Challenges of AIoT Application in Smart Agriculture: A Review. *Sensors*. 2023;23(7). <https://doi.org/10.3390/s23073752>
2. Водяников В.Т., Эдер А.В. Цифровизация АПК: оценка и перспективы внедрения в аграрном секторе экономики страны // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 2. С. 49-56. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-49-56>
3. Хоар Ч.А.Р. Программирование как инженерная профессия // *Микропроцессорные средства и системы*. 1984. № 4. С. 53-60. *Микропроцессорные средства и системы*, 1984, № 04.djvu
4. Ершов А.П. Программирование – вторая грамотность // *Проблемы информатики*. 2015. № 4 (29). С. 71-85. EDN: VSQJHN
5. Блохина С.Ю., Блохин Ю.И. Интеллектуальное земледелие на основе Интернета вещей // *Земледелие*. 2020. № 7. С. 7-15. EDN: FPNLYB
6. Holtorf L., Titov I., Daschner F., Gerken M. UAV-Based Wireless Data Collection from Underground Sensor Nodes for Precision Agriculture. *AgriEngineering*. 2023;5(1):338-354. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5010022>
7. Многоканальный микроконтроллерный измерительный преобразователь для зондов систем мониторинга влажности почвы емкостными датчиками: Патент RU2818484 C1, МПК G01R27/26(2006.01) / А.В. Вострухин, М.А. Мастепаненко, И.Н. Воротников, Е.А. Вахтина; заявл. 18.12.2023; опубл. 02.05.2024, Бюл. № 13. EDN: RVENHO
8. Vostrukhin A., Mastepanenko M., Vorotnikov I., Vakhtina E. Multichannel measuring converter for monitoring soil moisture with capacitive sensors. *Innovations in Sustainable Agricultural Systems*. 2024;2:12-20. https://doi.org/10.1007/978-3-031-72556-2_2

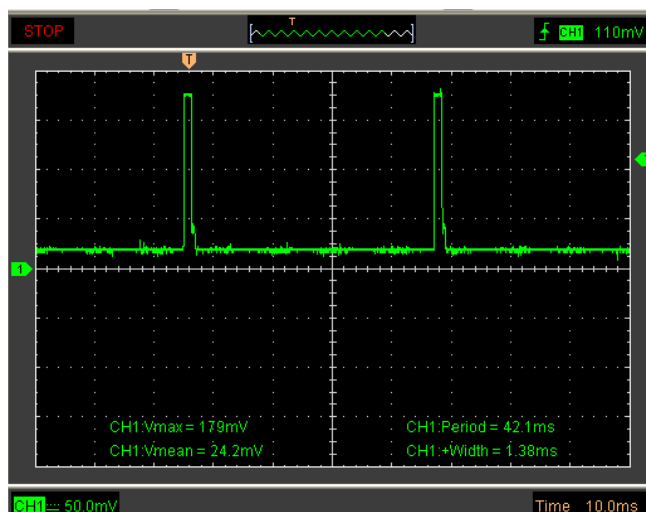


Рис. 9. Осциллограмма напряжения на резисторе, включенном последовательно во входную цепь модуля питания передающей подсистемы

Fig. 9. Voltage oscillogram across a resistor turned on serially into the input circuit of the power module of the transmitting subsystem

обеспечения. Это необходимо для успешного освоения процессов изучения, исследования и разработки систем реального времени, в том числе БСМ температуры сельскохозяйственных объектов.

References

1. Adli H.K., Remli M.A., Wan Salihin Wong K.N.S., Ismail N.A., González-Briones A., Corchado J.M., Mohamad M.S. Recent advancements and challenges of aiot application in smart agriculture: a review. *Sensors*. 2023;23(7). <https://doi.org/10.3390/s23073752>
2. Vodyannikov V.T., Eder A.V. Assessment and prospects for the digitalization of the agricultural sector of the Russian Economy. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(2):49-56. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-49-56>
3. Hoare C.A.R. Programming is an engineering profession. *Microprocessor-based tools and systems*. 1984;4:53-60. *Microprocessor Tools and Systems*, 1984, № 04.djvu (date of application: 05.01.2025). (In Russ.)
4. Ershov A.P. Programming is the second literacy. *Problemy Informatiki*. 2015;4:71-85. (In Russ.)
5. Blokhina S.Yu., Blokhin Yu.I. A smart farming based on the Internet of things. *Zemledelie*. 2020;7:7-13. (In Russ.)
6. Holtorf L., Titov I., Daschner F., Gerken M. UAV-Based Wireless Data Collection from Underground Sensor Nodes for Precision Agriculture. *AgriEngineering*. 2023;5(1):338-354. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5010022>
7. Vostrukhin A.V., Mastepanenko M.A., Vorotnikov I.N., Vakhtina E.A. Multichannel microcontroller measuring transducer for probes of soil moisture monitoring systems with capacitive sensors: Patent No. 2818484, IPC G01R27/26(2006.01), 2024. (In Russ.)
8. Vostrukhin A., Mastepanenko M., Vorotnikov I., Vakhtina E. Multichannel measuring converter for monitoring soil moisture with capacitive sensors. *Innovations in Sustainable Agricultural Systems*. 2024;2:12-20. https://doi.org/10.1007/978-3-031-72556-2_2
9. Vecherkov V.V., Abduraimov S.R., Dunaeva E.A. Development of a complex agrometeo station based on Arduino microcontroller. *Transactions of Tavrida Agricultural Science*. 2023;33:105-114. (In Russ.)

9. Вечерков В.В., Абдураимов С.Р., Дунаева Е.А. Разработка комплексной агрометеостанции, основанной на микроконтроллере Arduino // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2023. № 33 (196). С. 105-114. EDN: NVOBPM

10. Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Пестряков Е.В., Петрищев Н.А., Саяпин А.С. Дистанционный контроль частоты вращения коленчатого вала двигателя трактора с использованием алгоритма машинного обучения // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 34-39. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-34-39>

11. Родионов И.А., Елохин А.П., Рахматулин А.Б., Улин С.Е., Маджидов А.И., Шустов А.Е. Особенности передачи информации по радиоканалу в режиме реального времени при использовании беспилотного дозиметрического комплекса // Глобальная ядерная безопасность. 2023. № 1 (46). С. 5-13 <https://doi.org/10.26583/gns-2023-01-01>

12. Vostrukhin A., Vakhtina E., Bondar S., Tomashik L. Microcontroller metering converter of capacitance with voltage-controlled RC generator. *Engineering for Rural Development*. 2018;17:877-882. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N055>

13. Vostrukhin A., Vakhtina E. Temperature sensor resistance conversion to binary code using pulse width modulation. *Engineering for Rural Development*. 2019;18:1269-1274. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N037>

14. Вострухин А.В., Мастепаненко М.А., Вахтина Е.А. Энергосберегающий асинхронный интерфейс для беспроводных датчиков // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 63. С. 92-102. EDN: MCGNMX

Информация об авторах

¹ Вострухин Александр Витальевич, канд. техн. наук, доцент, научный сотрудник кафедры электротехники, автоматизации и метрологии; SPIN-код: 7414-7478, AuthorID: 291788; <https://orcid.org/0000-0002-2310-2339>, avostrukhin@yandex.ru

² Мастепаненко Максим Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, декан электроэнергетического факультета; SPIN-код: 1676-2740, AuthorID: 731041; <https://orcid.org/0000-0002-0335-8791>, mma_26@inbox.ru

³ Воротников Игорь Николаевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники, автоматизации и метрологии; SPIN-код: 6399-5710, AuthorID: 620972; <https://orcid.org/0000-0002-8402-7803>, vorotn_in@mail.ru

⁴ Вахтина Елена Артуровна, канд. пед. наук, доцент кафедры электротехники, автоматизации и метрологии; SPIN-код: 1467-8083, AuthorID: 546927; <https://orcid.org/0000-0002-8066-6659>, eavakhtina@yandex.ru

^{1,2,3,4} Ставропольский государственный аграрный университет; 355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12

Вклад авторов

А.В. Вострухин – концептуализация построения программного и аппаратного обеспечения беспроводной системы мониторинга физических величин, характеризующих состояние сельскохозяйственных объектов;

М.А. Мастепаненко – оптимизация построения программного и аппаратного обеспечения беспроводной системы мониторинга; И.Н. Воротников – тестирование и отладка модулей программного обеспечения беспроводной системы мониторинга; Е.А. Вахтина – построение структуры и корректировка рукописи с позиций дидактического проектирования встраиваемых систем на базе микроконтроллеров.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 02.06.2024, после рецензирования и доработки 28.09.2024; принята к публикации 26.11.2024

10. Kataev Yu.V., Kostomakhin M.N., Pestryakov E.V., Petrishchev N.A., Sayapin A.S. Remote control of the crankshaft speed of a tractor engine using a machine learning algorithm. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(5):34-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-34-39>

11. Rodionov I.A., Elokhin A.P., Rakhmatulin A.B., Ulin S.E., Majidov A.I., Shustov A.E. Information transmission features of live mode radio channel when using unmanned dosimetry complex. *Global Nuclear Safety*. 2023;(1):5-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.26583/gns-2023-01-01>

12. Vostrukhin A., Vakhtina E., Bondar S., Tomashik L. Microcontroller metering converter of capacitance with voltage-controlled RC generator. *Engineering for Rural Development*. 2018;17:877-882. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N055>

13. Vostrukhin A., Vakhtina E. Temperature sensor resistance conversion to binary code using pulse width modulation. *Engineering for Rural Development*. 2019;18:1269-1274. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N037>

14. Vostrukhin A.V., Mastepanenko M.A., Vakhtina E.A. Power-saving asynchronous interface for wireless sensors. *Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*. 2023;63:92-102. (In Russ.)

Author Information

¹ Aleksandr V. Vostrukhin, CSc (Eng), Associate Professor, Researcher of the Department of Electrical Engineering, Automation and Metrology; <https://orcid.org/0000-0002-2310-2339>, avostrukhin@yandex.ru

² Maksim A. Mastepanenko, CSc (Eng), Associate Professor, Dean of Electrical Power Engineering Faculty; <https://orcid.org/0000-0002-0335-8791>, mma_26@inbox.ru

³ Igor N. Vorotnikov, CSc (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Electrical Engineering, Automation and Metrology; <https://orcid.org/0000-0002-8402-7803>, vorotn_in@mail.ru

⁴ Elena A. Vakhtina, CSc (Ed), Associate Professor, the Department of Electrical Engineering, Automation and Metrology; <https://orcid.org/0000-0002-8066-6659>, eavakhtina@yandex.ru

^{1,2,3,4} Stavropol State Agrarian University; 12 Zootekhnicheskii Lane, Stavropol, 355017, Russian Federation

Authors Contribution

A.V. Vostrukhin – conceptualization, software and hardware resources;

M.A. Mastepanenko – formal analysis, software and hardware resources;

I.N. Vorotnikov – software, investigation, validation;

E.A. Vakhtina – writing – original draft preparation, review and editing of the manuscript.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest and are responsible for plagiarism

Received 02.06.2024; Revised 28.09.2024; Accepted 26.11.2024