

Содержание

Введение.....	4
1 Теоретический раздел.....	8
1.1 Системы дистанционного сбора и обработки данных.....	8
1.2 Обзор некоторых известных решений.....	10
1.3 Выводы по разделу.....	17
2 Проектный раздел.....	19
2.1 Техническое задание.....	19
2.2 Разработка архитектуры системы.....	19
2.3 Разработка структурных схем подсистем.....	26
2.4 Выбор аппаратного обеспечения.....	38
2.5 Расчет максимальных токов потребления подсистем.....	61
2.6 Разработка структурных-схем подсистем с выбранным аппаратным обеспечением.....	62
2.7 Разработка принципиальных схем подсистем.....	64
2.8 Проработка структуры передаваемых данных.....	67
2.9 Разработка блок-схем алгоритмов работы подсистем.....	69
2.10 Проработка человеко-машинного интерфейса системы.....	74
2.11 Сборка рабочего макета системы.....	76
2.12 Исследование системы.....	78
2.13 Выводы по разделу.....	79
Заключение.....	81
Список используемой литературы и используемых источников.....	83
Приложение А Программный код системы-передатчика.....	86
Приложение Б Программный код системы-приемника.....	90
Приложение В Сканер частот.....	99
Приложение Г Перечень элементов электрической принципиальной схемы системы-передатчика.....	101

Приложение Д Перечень элементов электрической принципиальной схемы системы-приемника.....	102
---	-----

Введение

Системы дистанционного сбора и обработки данных играют важную роль во многих сферах деятельности человека, позволяя получать актуальную информацию, необходимую для решения тех или иных задач. Например, на промышленных предприятиях такие системы используются для мониторинга загруженности и технического состояния производственного оборудования. В сфере жилищно-коммунального хозяйства наблюдается тенденция к использованию «умных» счетчиков потребления энергоресурсов, показания которых могут быть считаны дистанционно [1]. В сельском хозяйстве начинают использоваться различные беспроводные датчики (температуры, влажности, углекислого газа), благодаря которым можно производить дистанционный мониторинг среды и сырья [2]. Элементы систем дистанционного сбора и обработки данных используются и в различных системах промышленной и домашней автоматизации, предоставляя данные, необходимые для формирования управляющих воздействий на те или иные электронные устройства, например, для оказания упреждающих воздействий или для поддержания значений контролируемых физических величин на заданном уровне. Также системы дистанционного сбора и обработки данных играют важную роль в развивающейся концепции Интернета вещей, которая описывает возможность создания масштабных вычислительных сетей, состоящих из физических устройств, оснащенных встроенными технологиями для автономного или осуществляемого с минимальным вмешательством человека взаимодействия друг с другом или с внешней средой. Одной из основных возможностей Интернета вещей является дистанционный сбор больших объемов разнообразных данных от объектов окружающего мира, оснащенных датчиками, для последующего интеллектуального анализа этих данных с помощью облачных вычислений и «больших данных» [3].

Системы дистанционного сбора и обработки данных начали активно развиваться и применяться примерно с середины прошлого века в связи с развитием телеметрии. В то время использование таких систем в основном ограничивалось военной и космической отраслями, однако развитие электроники и информационно-коммуникационных технологий способствовало внедрению таких систем во многие другие сферы деятельности человека. В современном мире системы дистанционного сбора и обработки данных имеют важное значение, позволяя решать задачи разного характера, что доказывает *актуальность* рассматриваемой темы.

Целью данной магистерской диссертации является создание системы дистанционного сбора и обработки данных. *Список функций*, которые должны быть реализованы в системе:

- дистанционное измерение расхода воды,
- дистанционное измерение температуры и влажности воздуха,
- дистанционное измерение постоянного напряжения,
- дистанционное обнаружение утечки газа,
- дистанционное управление широтно-импульсной модуляцией,
- дистанционное управление реле.

Привели примеры некоторых областей, в которых могут быть актуальны данные функции, и некоторых задач, которые могут быть решены с помощью данных функций:

– дистанционное измерение расхода воды может применяться на промышленных предприятиях для контроля использования технической воды, в сельскохозяйственных системах автоматического полива растений, в сфере жилищно-коммунального хозяйства для дистанционного сбора показаний счетчиков воды;

– дистанционное измерение температуры и влажности воздуха может применяться на промышленных предприятиях для мониторинга параметров воздуха на участках сборочной линии, в сельском хозяйстве для мониторинга

параметров воздуха в теплицах, в системах климатического контроля «умных домов»;

- дистанционное измерение постоянного напряжения может применяться для мониторинга напряжения батарей или аккумуляторов в автономных электронных устройствах;

- дистанционное обнаружение утечки газа может применяться на нефтегазовых производствах или в домашних охранных системах, в том числе для автоматического перекрытия подачи газа с помощью исполнительных механизмов;

- дистанционное управление широтно-импульсной модуляцией, основанное на дистанционном считывании данных от такого устройства, как, например, потенциометр, может применяться в робототехнике для плавного изменения скорости вращения электродвигателя постоянного тока, в системах промышленной или домашней автоматизации для плавного изменения яркости свечения светодиодного источника света;

- дистанционное управление реле, основанное на определении состояния такого элемента, как, например, кнопка или геркон, может использоваться для коммутации напряжения, подаваемого на некоторую полезную нагрузку.

Основные *технические требования*, предъявляемые к проектируемой системе:

- система должна осуществлять процесс дистанционного сбора данных по беспроводному каналу связи;

- система должна иметь в своем составе человеко-машинный интерфейс (англ. Human-Machine Interface, HMI), посредством которого дистанционно собранные системой данные могут быть представлены в удобном для человека графическом виде;

- система должна быть основана на открытой аппаратно-программной платформе и иметь модульную конструкцию, что позволит при

необходимости адаптировать систему для решения каких-либо конкретных инженерно-технических задач, связанных с дистанционным сбором данных.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить необходимые структурные элементы системы;
- определить состав набора данных, дистанционно получаемого системой;
- разработать алгоритм работы системы;
- выбрать аппаратное обеспечение системы;
- разработать программное обеспечение системы;
- разработать человеко-машинный интерфейс для графического представления дистанционно собираемых системой данных;
- собрать макет системы для проверки ее функциональности и работоспособности.

1 Теоретический раздел

1.1 Системы дистанционного сбора и обработки данных

В основе систем дистанционного сбора и обработки данных лежит телеметрия – дистанционный мониторинг физических величин. История развития телеметрии началась еще в конце девятнадцатого века. Так, в 1870-х годах на французской горе Монблан были установлены датчики, которые в реальном времени передавали данные о погоде и глубине снега в Париж. Началом активного развития и внедрения телеметрии можно считать начало второй половины двадцатого века – важным событием того времени стал запуск в 1957 году первого искусственного спутника Земли («Спутник-1»), который имел на своем борту две антенны для приема и передачи данных по радиоканалу на Землю.

Если первые системы дистанционного сбора и обработки данных позволяли производить мониторинг лишь нескольких параметров, то современные системы позволяют производить дистанционный мониторинг сложных объектов и систем путем мониторинга целого ряда параметров, которые могут с нужной точностью описывать состояние данного объекта или системы в определенный момент времени. Например, в гоночной серии «Формула-1» активно используется телеметрия для дистанционного мониторинга состояния гоночного болида [4]. Электронные системы современного болида «Формулы-1» содержат множество (в некоторых болидах – более сотни) электронных датчиков, которые детально отслеживают работу двигателя, коробки передач, рулевого колеса, тормозной системы и других важных составляющих болида. Информация о состоянии болида по радиоканалу передается в находящийся на территории трассы командный бокс, в котором анализом полученных данных занимаются гоночные инженеры.

В состав систем дистанционного сбора и обработки данных могут входить: устройства-источники данных (датчики, кнопки, герконы и т.п.), устройства первичной обработки данных от устройств-источников данных (например, микроконтроллеры или микрокомпьютеры), устройства связи, устройства обработки, хранения, отображения данных.

К некоторым требованиям, предъявляемым к системам дистанционного сбора и обработки данных, можно отнести достаточную точность измерений контролируемых величин, своевременную передачу данных в центр мониторинга, достаточную пропускную способность канала связи. Кроме того, такие системы должны обладать высоким уровнем автоматизации информационных процессов, к которым можно отнести процессы передачи, получения, обработки, хранения и отображения данных.

Системы дистанционного сбора и обработки данных можно разделить на системы, использующие беспроводные каналы связи, и системы, использующие проводные каналы связи. Преимущество беспроводных каналов связи заключается в том, что системы, использующие их, являются более гибкими, их легче масштабировать, тогда как проводные каналы связи зачастую экономически дороги, неудобны в монтаже и обслуживании. Однако проводные решения широко используются в промышленности и в военной отрасли, так как передаваемый по проводам сигнал лучше защищен от искажений и перехвата, чем сигнал, передаваемый по воздуху.

Системы дистанционного сбора и обработки данных также можно разделить по уровню пропускной способности канала связи. Пропускная способность канала связи – это максимальное количество информации, которое может передаваться по каналу связи в единицу времени. Например, если пропускная способность канала связи равна 100 Мбит/с, то это значит, что за одну секунду по каналу связи может быть передано количество информации, равное 100 Мбит. Например, пропускная способность Wi-Fi составляет 150 Мбит/с (для стандарта IEEE 802.11n).

Системы дистанционного сбора и обработки данных также можно разделить на оперативные и регистрирующие. Оперативные системы используются для дистанционного получения данных, на основе которых в системах автоматизации формируются управляющие сигналы, подаваемые на те или иные электронные устройства. К таким системам предъявляются требования быстрой передачи и обработки данных. Регистрирующие системы в основном предназначены лишь для мониторинга значений отслеживаемых величин и, например, записи этих значений на устройства хранения данных.

Также стоит отметить, что данные, собираемые системами дистанционного сбора и обработки данных, могут анализироваться инструментами интеллектуального анализа данных (например, облачные вычисления). На основе результатов этого анализа люди могут получать новые знания, принимать обоснованные решения, снижать издержки и автоматизировать процессы во многих сферах деятельности человека.

1.2 Обзор некоторых известных решений

1.2.1 Функции, которые должны быть реализованы в проектируемой системе дистанционного сбора и обработки данных, так или иначе реализованы в виде отдельных решений от разных производителей. В связи с тем, что данные решения могут отличаться друг от друга целым рядом характеристик, рассмотрели только некоторые из них.

1.2.1.1 Дистанционное измерение расхода воды

Примером счетчика воды, показания которого можно считывать дистанционно, является счетчик воды Элехант СВД-15 (рисунок 1).



Рисунок 1 – Счетчик воды Элехант СВД-15, показания которого можно просматривать с помощью мобильного приложения или выносного дисплея.

Данный счетчик оборудован модулем Bluetooth Low Energy для передачи показаний в мобильное приложение «Элехант». Далее мобильное приложение через Интернет передает показания счетчика в личный кабинет управляющей компании на сервере «Элехант». Также счетчик воды может передавать показания счетчика выносному дисплею, который пользователь может разместить в удобном для себя месте. Дальность передачи данных от счетчика – до 10 метров [5].

1.2.1.2 Дистанционное измерение температуры и влажности воздуха

Примером устройства для дистанционного мониторинга температуры и влажности воздуха является GSM-контроллер RTU5023 (рисунок 2).



Рисунок 2 – GSM-контроллер RTU5023 для дистанционного мониторинга температуры и влажности воздуха.

Данный контроллер имеет антенну и разъем для SIM-карты для работы в GSM-сети. Для измерения температуры и влажности воздуха к контроллеру можно по проводу подключить цифровой датчик температуры и влажности воздуха AM2305. Контроллер по запросу от пользователя или по расписанию может присылать пользователю SMS-сообщение с измеренными значениями температуры и влажности воздуха. Также он может уведомлять пользователя о достижении установленных пользователем граничных значений температуры и влажности воздуха. Рекомендуемое напряжение питания контроллера составляет 12 В. Ток в режиме ожидания составляет до 50 мА. Контроллер имеет встроенный аккумулятор с емкостью, равной 900 мАч, благодаря которому при отключении основного питания он может проработать до 8 часов [6].

1.2.1.3 Дистанционное измерение постоянного напряжения

Примером устройства для дистанционного мониторинга постоянного напряжения является устройство SafeCurrent Battery Monitor, предназначенное для дистанционного мониторинга напряжения аккумулятора (рисунок 3).



Рисунок 3 – Устройство SafeCurrent Battery Monitor для дистанционного мониторинга напряжения аккумулятора.

Данное устройство имеет антенну и разъем для SIM-карты. Устройство может уведомлять пользователя о низком уровне заряда аккумулятора (пороговое значение напряжение аккумулятора, которое устройство воспринимает как низкое, задается самим пользователем). Пользователь может отслеживать текущее значение напряжение аккумулятора через свой личный онлайн-кабинет (рисунок 4).

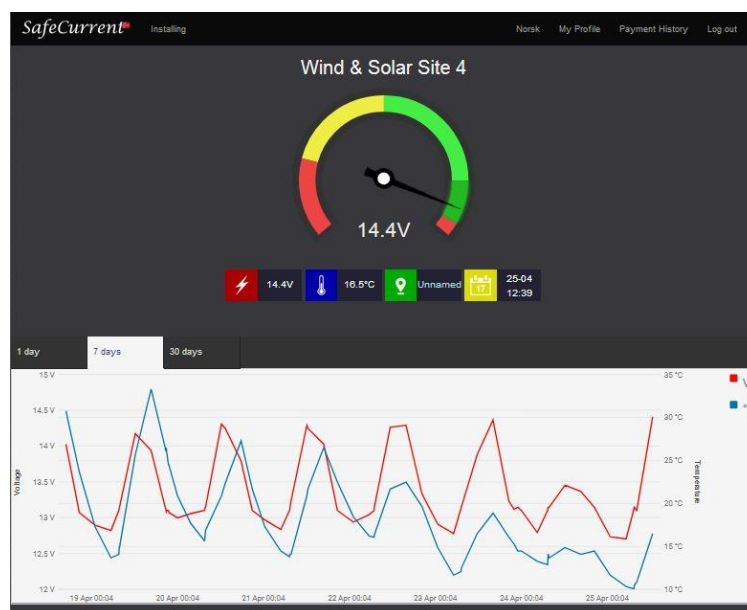


Рисунок 4 – Онлайн-кабинет для мониторинга напряжения аккумулятора с помощью SafeCurrent Battery Monitor.

Устройство может измерять постоянное напряжение в диапазоне от 7 до 30 В. Ток потребления устройства в режиме ожидания составляет до 0,09 мА, а в режиме передачи данных (длится 15 секунд) – 350 мА. Данные от этого устройства передаются каждые 4 часа [7].

1.2.1.4 Дистанционное обнаружение утечки газа

Для дистанционного обнаружения утечки газа может использоваться комплекс Страж Газ-Контроль MP01GSM-G (рисунок 5).



Рисунок 5 – Комплекс Страж Газ-Контроль MP01GSM-G.

Данный комплекс включает в себя: беспроводной датчик газа (может обнаруживать природный газ, пропан, бутан), GSM-панель, радиобрелки для управления комплексом, устройство для перекрытия подачи газа. Беспроводной датчик газа (всего таких датчиков может быть в составе комплекса до 70 штук) связывается с GSM-панелью по радиоканалу 433 МГц. GSM-панель может предупредить пользователя об обнаружении утечки газа с помощью звонка или SMS-сообщения. Кроме того, в случае обнаружения утечки газа система может самостоятельно перекрыть подачу газа через одну магистраль (также пользователь это может сделать

принудительно дистанционно). GSM-панель оснащена аккумулятором для автономной работы до 12 часов [8].

1.2.1.5 Дистанционное управление широтно-импульсной модуляцией

Одной из основных задач, для решения которых используется дистанционное управление широтно-импульсной модуляцией, является дистанционное управление светодиодными источниками света.

С помощью контроллера ARL-4022-SIRIUS-RGB можно дистанционно изменять яркость свечения светодиодной ленты с напряжением питания 12 В или 24 В. Управление контроллером осуществляется с помощью пульта дистанционного управления по радиоканалу 2,4 ГГц [9]. Схема подключения к контроллеру источника питания и трехцветной светодиодной ленты представлена на рисунке 6.

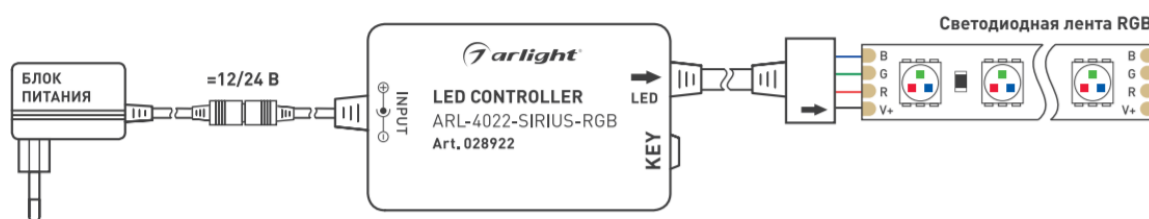


Рисунок 6 – Схема подключения источника питания и трехцветной светодиодной ленты к контроллеру ARL-4022-SIRIUS-RGB.

Примером контроллера светодиодных источников света, управляемого через Wi-Fi-сеть, является модель SR-1009FA WiFi [10]. Изменение яркости свечения светодиодной ленты, подключенной к этому контроллеру, осуществляется через специальное приложение для смартфона.

1.2.1.6 Дистанционное управление реле

Примером дистанционно управляемого реле является GSM-реле Sonoff G1, в котором имеется разъем для SIM-карты (рисунок 7).



Рисунок 7 – Разъем для SIM-карты в GSM-реле Sonoff G1.

Управление реле происходит дистанционно через приложение для смартфона. Команды от пользователя поступают на сервер, а затем – на реле. Таким образом, данным реле можно управлять через сеть GPRS без подключения реле к проводному Интернету или Wi-Fi-сети [11].

1.2.2 Обзор некоторых научных статей

Также провели обзор некоторых работ, авторы которых разработали решения, так или иначе выполняющие некоторые из функций, которые должны быть реализованы в проектируемой в рамках данной работы системе дистанционного сбора и обработки данных. Рассмотрели только те аспекты этих решений, которые представляют интерес для обзора в рамках данной работы.

В работе [12] разработана система на основе платы Arduino UNO, расходомера воды и Wi-Fi-микроконтроллера ESP8266, позволяющая производить мониторинг расхода воды через Интернет. Плата Arduino с помощью подключенного к ней расходомера измеряет расход воды, затем передает эти данные Wi-Fi-микроконтроллеру ESP8266, который далее загружает эти данные на WEB-сервер. Подключившись к этому WEB-серверу, пользователь может дистанционно просмотреть измеренное значение расхода воды.

В работе [13] разработана система, позволяющая производить дистанционный мониторинг погоды. Плата Arduino UNO с помощью датчика

DHT11 измеряет температуру и влажность воздуха, с помощью датчика LM35 измеряет уровень освещенности, выводит измеренные значения на LCD-дисплей, а также, используя GSM-модуль SIM800L, может отправить их пользователю SMS-сообщением.

В работе [14] разработана система для дистанционного управления реле. В этой системе к плате Arduino UNO подключены Bluetooth-модуль HC-05 и электромеханическое реле. Пользователь через смартфон, оснащенный Bluetooth-модулем, устанавливает соединение с HC-05, затем через специальное мобильное приложение посылает назначенные команды HC-05, которые далее принимает плата Arduino UNO для управления реле

В работе [15] разработана система, оповещающая пользователя об утечке газа посредством SMS-сообщения. Система состоит из платы Arduino UNO, подключенных к ней платы расширения GSM shield SIM900, датчика газа MQ-2, LCD-дисплея, реле, звукового извещателя. На LCD-дисплее отображается информация о том, обнаружена утечка газа в данный момент или нет. При обнаружении газа датчиком MQ-2 плата Arduino UNO, используя GSM shield SIM900, отправляет пользователю соответствующее SMS-сообщение, а также активирует звуковой извещатель и с помощью реле коммутирует напряжение, подаваемое на подключенный к реле вентилятор.

1.3 Выводы по разделу

Рассмотрены общие принципы функционирования систем дистанционного сбора и обработки данных, рассмотрены некоторые виды таких систем, также рассмотрены некоторые существующие решения, так или иначе выполняющие функции, которые должны быть реализованы в проектируемой системе согласно техническому заданию. Анализ известных решений показал, что при выборе технологии передачи данных для системы дистанционного мониторинга или управления необходимо учитывать требуемый радиус действия системы и примерное время автономной работы

устройства (или системы) при отключении основного источника электропитания, если это необходимо. Также анализ известных решений показал, что аппаратно-программная платформа Arduino является подходящей платформой для решения задач дистанционного управления и дистанционного мониторинга.

2 ПРОЕКТНЫЙ РАЗДЕЛ

2.1 Техническое задание

Целью данной магистерской диссертации является создание системы дистанционного сбора и обработки данных.

Список функций, которые должны быть реализованы в системе:

- дистанционное измерение расхода воды,
- дистанционное измерение температуры и влажности воздуха,
- дистанционное измерение постоянного напряжения,
- дистанционное обнаружение утечки газа,
- дистанционное управление широтно-импульсной модуляцией,
- дистанционное управление реле.

Основные технические требования, предъявляемые к системе:

- система должна осуществлять процесс дистанционного сбора данных по беспроводному каналу связи;
- система должна иметь в своем составе человеко-машинный интерфейс (англ. Human-machine interface, HMI), посредством которого дистанционно собираемые системой данные могут быть представлены в удобном для человека графическом виде;
- система должна быть основана на открытой аппаратно-программной платформе и иметь модульную конструкцию, что позволит при необходимости адаптировать систему для решения каких-либо конкретных инженерно-технических задач.

2.2 Разработка архитектуры системы

Произвели первичный анализ функций, которые должны быть реализованы в проектируемой системе согласно техническому заданию.

Архитектура системы, достаточная для реализации данных функций, состоит из следующих элементов:

- набор данных,
- система-передатчик данных (система-передатчик),
- система-приемник данных (система-приемник),
- беспроводной канал связи,
- человеко-машинный интерфейс.

Набор данных – это совокупность всех данных, которые система дистанционно считывает для выполнения своих функций.

Проектируемая система состоит из двух отдельных подсистем – *системы-передатчика* и *системы-приемника*. Они связаны между собой *беспроводным каналом связи*. Система-передатчик создает, заполняет и отправляет системе-приемнику структурированный набор данных. Система-приемник получает его и обрабатывает. Также в состав системы-приемника входит *человеко-машинный интерфейс*, посредством которого полученный набор данных представляется в графическом виде.

Система-передатчик передает системе-приемнику набор данных только в случае изменения значения хотя бы одной переменной, входящей в состав этого набора данных. Если же значения всех переменных остаются неизменными, то набор данных не передается. Такой подход к межсистемной коммуникации должен снизить загруженность канала связи и увеличить время работы обеих подсистем в случае их питания от автономных источников электроэнергии.

Обобщенная структурная схема проектируемой системы дистанционного сбора и обработки данных представлена на рисунке 8.



Рисунок 8 – Обобщенная структурная схема проектируемой системы.

Система-передатчик и система-приемник состоят из одинаковых функциональных элементов:

- управляющее устройство,
- модуль беспроводной связи,
- набор подключенных к управляющему устройству электронных компонентов и устройств.

Управляющее устройство системы-передатчика считывает данные от подключенных к нему электронных устройств, обрабатывает эти данные, затем формирует единый структурированный набор данных и через модуль беспроводной связи отправляет его системе-приемнику.

Обобщенная структурная схема системы-передатчика представлена на рисунке 9.

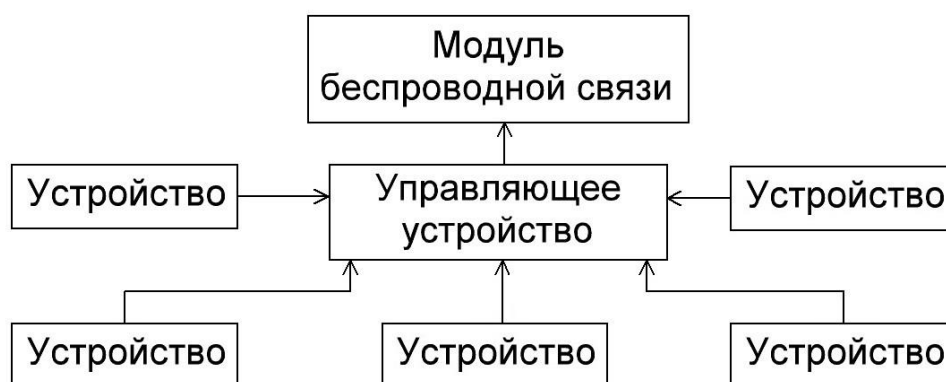


Рисунок 9 – Обобщенная структурная схема системы-передатчика.

Управляющее устройство системы-приемника через модуль беспроводной связи получает от системы-передатчика набор данных, обрабатывает его и затем использует для управления работой подключенных к нему электронных устройств.

Обобщенная структурная схема системы-приемника представлена на рисунке 10.

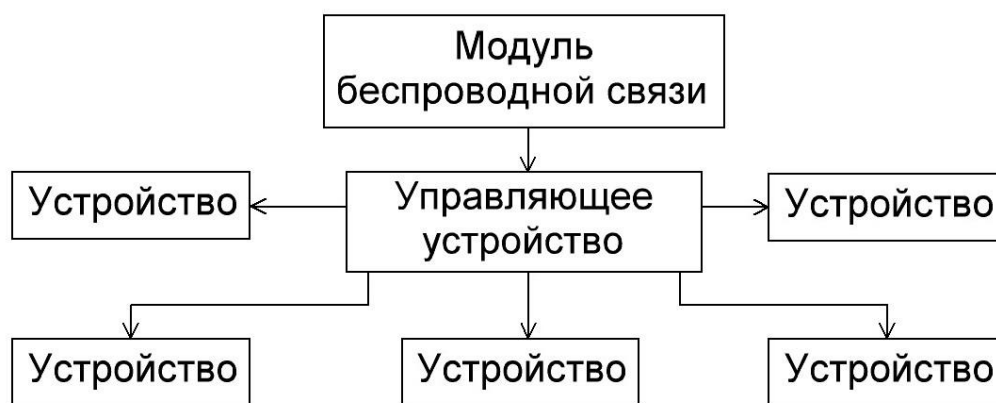


Рисунок 10 – Обобщенная структурная схема системы-приемника.

Основными функциональными элементами системы-передатчика и системы-приемника являются управляющие устройства, которые считывают данные от подключенных к ним устройств или управляют ими. Согласно техническому заданию, проектируемая система дистанционного сбора и обработки данных должна быть гибкой и адаптируемой для решения различных инженерно-технических задач. Для выполнения данного требования в качестве управляющих устройств системы-передатчика и системы-приемника выбрали микроконтроллеры. К преимуществам микроконтроллеров над другими электронными управляющими устройствами (например, программируемые логические контроллеры, промышленные контроллеры, микрокомпьютеры) можно отнести малые габариты, низкое энергопотребление, доступную цену, отсутствие излишней функциональности. Использование микроконтроллеров в качестве управляющих устройств позволит создать гибкую и настраиваемую систему дистанционного сбора и обработки данных, изменение алгоритма работы которой при необходимости можно будет осуществлять путем перепрограммирования микроконтроллеров.

Обобщенная структурная схема системы-передатчика на основе микроконтроллера представлена на рисунке 11.

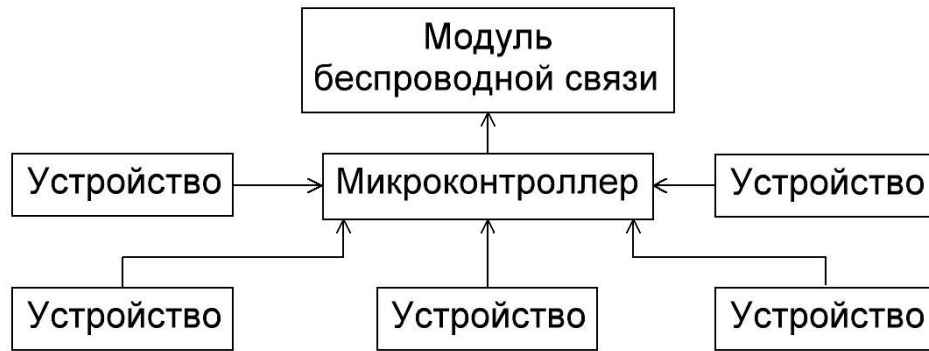


Рисунок 11 – Обобщенная структурная схема системы-передатчика на основе микроконтроллера.

Обобщенная структурная схема системы-приемника на основе микроконтроллера представлена на рисунке 12.

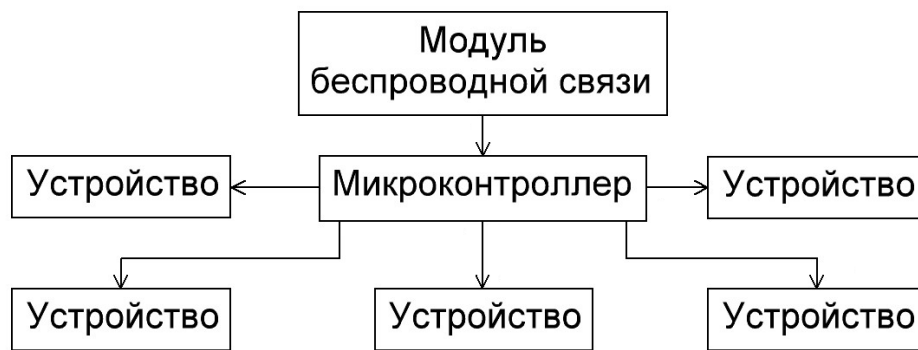


Рисунок 12 – Обобщенная структурная схема системы-приемника на основе микроконтроллера.

Согласно техническому заданию, в состав проектируемой системы дистанционного сбора и обработки данных должен входить человеко-машинный интерфейс, посредством которого дистанционно собранные системой данные могут быть представлены в удобном для человека графическом виде.

Человеко-машинный интерфейс проектируемой системы является частью системы-приемника и основывается на следующих элементах:

- дисплей,
- WEB-интерфейс.

Дисплей представляет собой отдельное электронное устройство, подключенное к микроконтроллеру системы-приемника. Однако для того, чтобы дистанционно собираемые системой данные можно было просматривать не только с дисплея, но и с других электронных устройств (смартфоны, ноутбуки, компьютеры и т.п.), приняли решение дополнительно оснастить проектируемую систему WEB-интерфейсом. Информация, выводимая на него, должна дублировать информацию, выводимую на дисплей.

WEB-интерфейс проектируемой системы представляет собой интерфейс, доступ к которому можно получить через локальную сеть Интернет. Система-приемник выступает в роли WEB-сервера, на котором «хранится» этот WEB-интерфейс. Система-приемник должна иметь свой сетевой адрес (IP-адрес), по которому другие электронные устройства, выступающие по отношению к этой подсистеме в роли клиента, могут обращаться к ней для просмотра WEB-интерфейса.

С программной точки зрения WEB-интерфейс представляет собой страницу, написанную на языке гипертекстовой разметки HTML [16]. Система-приемник создает эту HTML-страницу, форматирует ее, вносит в нее полученные от системы-передатчика данные и своевременно их обновляет при получении следующего набора данных.

Так как устройство-клиент должно подключаться к системе-приемнику через локальную сеть Интернет, то и сама система-приемник должна быть подключена к этой сети. Для этого добавили в состав системы-приемника Ethernet-модуль. Имея в своем составе данный элемент, система-приемник становится способна взаимодействовать с другими сетевыми устройствами. Работой Ethernet-модуля управляет микроконтроллер системы-приемника.

Если необходимо подключить к системе-приемнику сразу несколько устройств-клиентов, то для этого нужно использовать специальное связующее звено между этими устройствами и системой-приемником. В качестве такого связующего звена выступает роутер – это электронное

устройство, предназначенное для передачи пакетов данных между несколькими сетевыми устройствами. К роутеру через Ethernet подключаются как система-приемник, так и устройства-клиенты (например, персональные компьютеры или ноутбуки). Максимальное количество таких устройств-клиентов зависит от количества портов, предусмотренных в конкретной модели роутера. Стоит отметить, что существуют так называемые Wi-Fi-роутеры, поддерживающие передачу данных через сеть Wi-Fi. К таким роутерам можно подключить несколько десятков устройств-клиентов, если они имеют встроенный Wi-Fi-модуль. Используя роутер, можно обеспечить одновременное подключение к системе-приемнику сразу несколько сетевых устройств (рисунок 13).

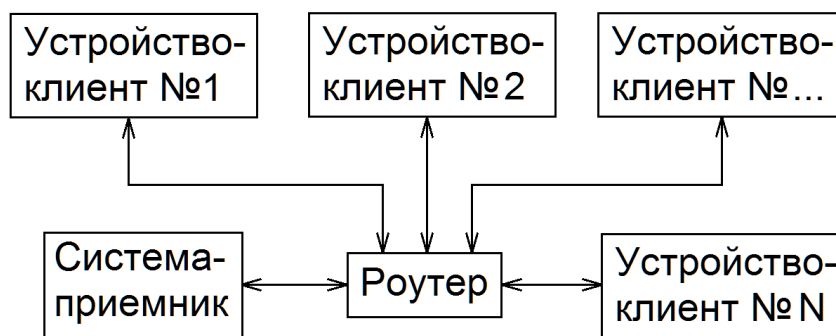


Рисунок 13 – Структурная схема подключения устройств-клиентов к системе-приемнику через роутер.

Просмотр WEB-интерфейса проектируемой системы с устройства-клиента осуществляется через установленный на этом устройстве WEB-браузер – это программное обеспечение, посредством которого данное устройство может работать с WEB-приложениями, открывать Интернет-сайты, обмениваться данными с WEB-серверами. WEB-браузеры, такие как Google Chrome, Mozilla Firefox, Internet Explorer, входят в стандартный набор программ, устанавливаемых большинством производителей электроники на выпускаемые ими смартфоны, ноутбуки, компьютеры, планшеты, умные часы и т.п.

Элементы системы-приемника, необходимые для реализации человеко-машинного интерфейса, представлены на рисунке 14.

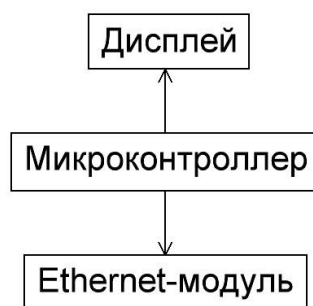


Рисунок 14 – Элементы системы-приемника для реализации человеко-машинного интерфейса.

Таким образом, для реализации человеко-машинного интерфейса необходимы дисплей и Ethernet-модуль.

2.3 Разработка структурных схем подсистем

2.3.1 Для каждой функции, которая должна быть реализована в проектируемой системе дистанционного сбора и обработки данных, выбрали необходимые функциональные элементы системы-передатчика и системы-приемника, отобразили их подключение друг к другу в виде структурной схемы и описали обобщенный алгоритм их взаимодействия друг с другом. Для этого ввели допущение, что система-передатчик передает системе-приемнику не полный набор данных, как было сказано ранее, а лишь ту часть набора данных, которая необходима для выполнения системой той или иной функции. Проработав каждую системную функцию, можно будет понять, какие функциональные элементы должна содержать система в целом и каким должен быть алгоритм ее работы.

2.3.1.1 Функция «Дистанционное измерение расхода воды»

Функциональные элементы системы-передатчика: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, счетчик воды.

Функциональные элементы системы-приемника: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, дисплей, Ethernet-модуль.

Данные, которые система-передатчик отправляет системе-приемнику: переменная «send_data.waterLiters».

Структурная схема проектируемой системы, необходимая для реализации данной функции, представлена на рисунке 15.

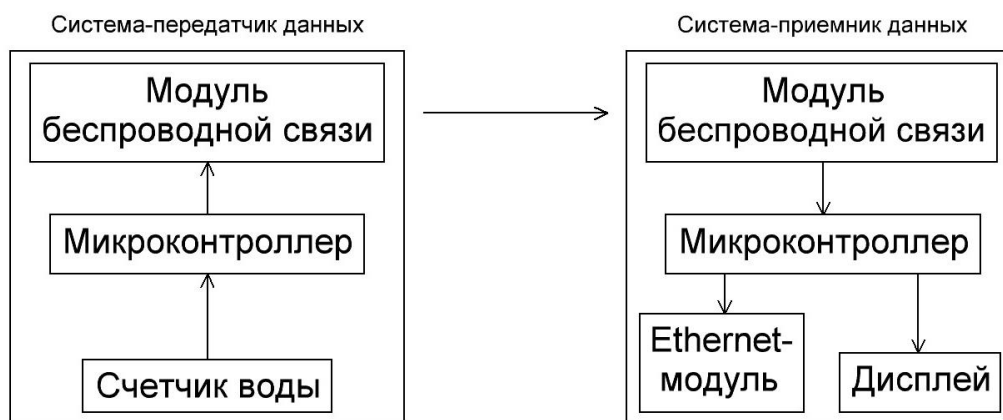


Рисунок 15 – Структурная схема проектируемой системы для функции «Дистанционное измерение расхода воды».

Активация функции: при включении микроконтроллеров обеих подсистем.

Алгоритм работы системы-передатчика:

- микроконтроллер считывает данные от счетчика воды;
- микроконтроллер рассчитывает суммарный расход воды, пропущенной через счетчик воды с момента активации функции, и записывает это значение в переменную «send_data.waterLiters»;
- микроконтроллер через модуль беспроводной связи отправляет системе-приемнику переменную «send_data.waterLiters».

Алгоритм работы системы-приемника:

- микроконтроллер через модуль беспроводной связи получает переменную «send_data.waterLiters»;

– микроконтроллер выводит значение переменной «send_data.waterLiters» на дисплей и на WEB-интерфейс.

2.3.1.2 Функция «Дистанционное измерение температуры и влажности воздуха»

Функциональные элементы системы-передатчика: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, датчик температуры и влажности воздуха.

Функциональные элементы системы-приемника: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, дисплей, Ethernet-модуль.

Структурная схема проектируемой системы, необходимая для реализации данной функции, представлена на рисунке 16.

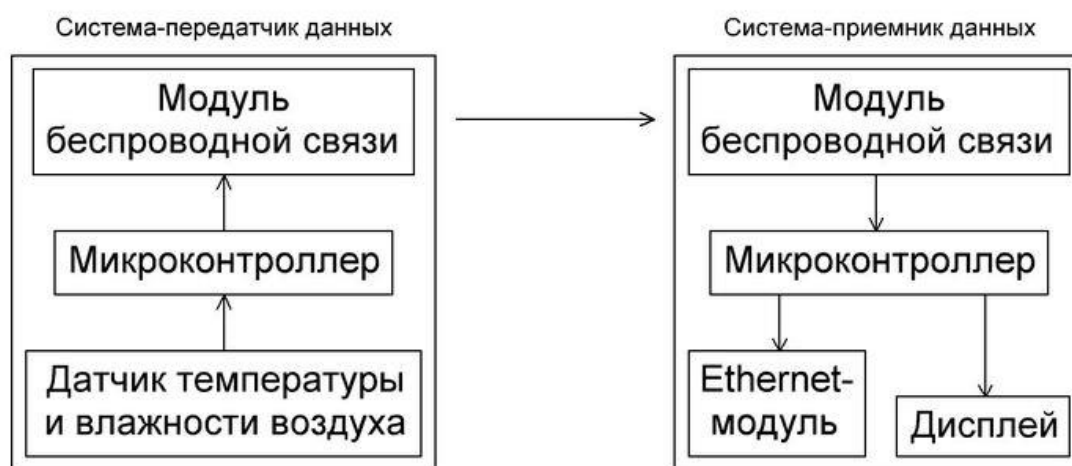


Рисунок 16 – Структурная схема проектируемой системы для функции «Дистанционное измерение температуры и влажности воздуха».

Активация функции: при включении микроконтроллеров обеих подсистем.

Данные, которые система-передатчик отправляет системе-приемнику: переменные «send_data.data[0]» и «send_data.data[1]».

Алгоритм работы системы-передатчика:

– микроконтроллер считывает данные от датчика температуры и влажности воздуха, который измеряет текущие значения соответствующих параметров воздуха;

– микроконтроллер записывает измеренное датчиком значение влажности воздуха в переменную «send_data.data[0]», а значение температуры воздуха – в переменную «send_data.data[1]»;

– микроконтроллер через модуль беспроводной связи отправляет переменные «send_data.data[0]» и «send_data.data[1]» системе-приемнику.

Алгоритм работы системы-приемника:

– микроконтроллер через модуль беспроводной связи получает переменные «send_data.data[0]» и «send_data.data[1]»;

– микроконтроллер выводит значения переменных «send_data.data[0]» и «send_data.data[1]» на дисплей и WEB-интерфейс.

2.3.1.3 Функция «Дистанционное измерение постоянного напряжения»

Функциональные элементы системы-передатчика: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, датчик постоянного напряжения.

Функциональные элементы системы-приемника: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, дисплей, Ethernet-модуль.

Структурная схема проектируемой системы, необходимая для реализации данной функции, представлена на рисунке 17.

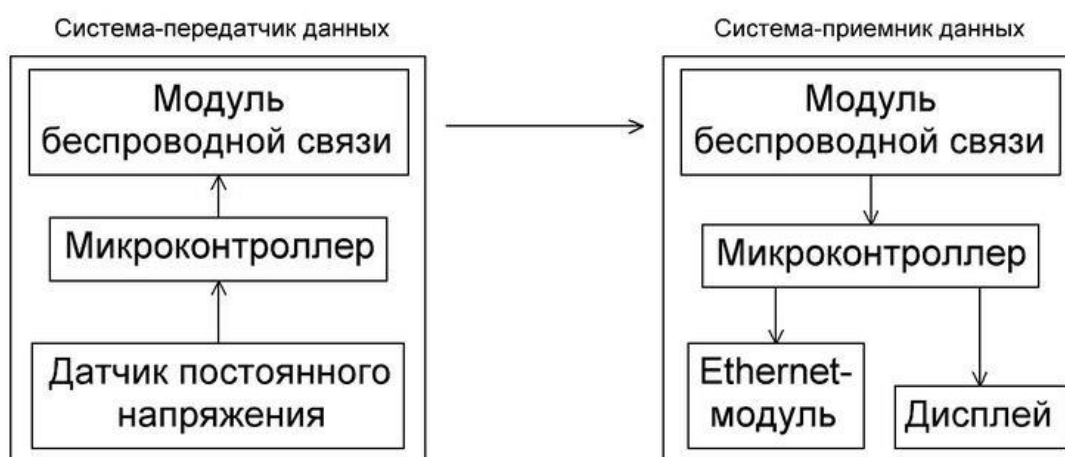


Рисунок 17 – Структурная схема проектируемой системы для функции «Дистанционное измерение постоянного напряжения».

Активация функции: при включении микроконтроллеров обеих подсистем.

Данные, которые система-передатчик отправляет системе-приемнику: переменная «send_data.voltage».

Алгоритм работы системы-передатчика:

– микроконтроллер считывает данные от датчика, который измеряет значение напряжения подключенного к нему источника постоянного напряжения;

– микроконтроллер записывает измеренное датчиком значение в переменную «send_data.voltage»;

– микроконтроллер через модуль беспроводной связи отправляет переменную «send_data.voltage» системе-приемнику.

Алгоритм работы системы-приемника:

– микроконтроллер через модуль беспроводной связи получает переменную «send_data.voltage»;

– микроконтроллер выводит значение переменной «send_data.voltage» на дисплей и WEB-интерфейс.

2.3.1.4 Функция «Дистанционное обнаружение утечки газа»

Функциональные элементы системы-передатчика: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, датчик газа.

Функциональные элементы системы-приемника: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, светодиод, зуммер, Ethernet-модуль.

Структурная схема проектируемой системы, необходимая для реализации данной функции, представлена на рисунке 18.

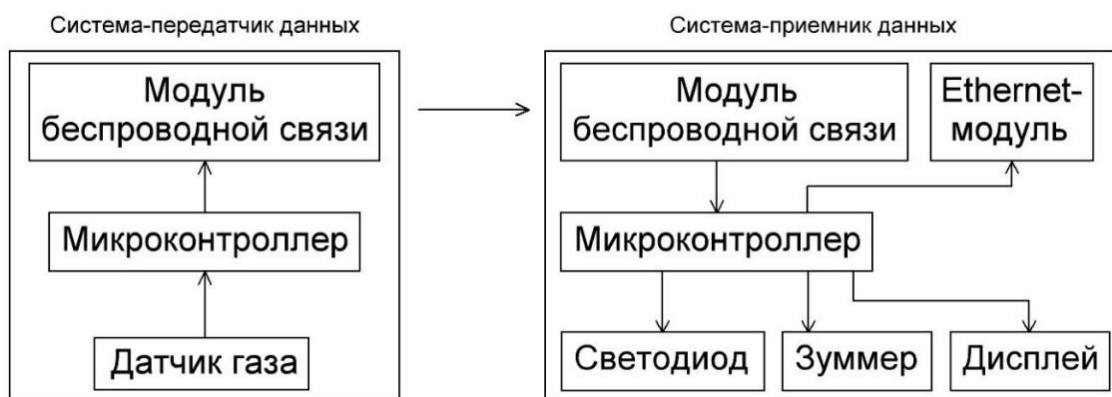


Рисунок 18 – Структурная схема проектируемой системы для функции «Дистанционное обнаружение утечки газа».

Активация функции: при включении микроконтроллеров обеих подсистем.

Данные, которые система-передатчик отправляет системе-приемнику: переменная «send_data.data[2]».

Алгоритм работы системы-передатчика:

- микроконтроллер считывает выходной сигнал датчика газа и получает информацию о состоянии датчика (обнаружил он утечку газа или нет);
- микроконтроллер записывает состояние датчика в переменную «send_data.data[2]»;
- микроконтроллер через модуль беспроводной связи отправляет переменную «send_data.data[2]» системе-приемнику.

Алгоритм работы системы-приемника:

- микроконтроллер через модуль беспроводной связи получает переменную «send_data.data[2]» и на основе ее значения получает информацию о состоянии датчика газа;
- микроконтроллер выводит на дисплей и WEB-интерфейс информацию о состоянии датчика газа;

– микроконтроллер системы-приемника при обнаружении утечки газа периодически включает светодиод и зуммер до тех пор, пока утечка газа не будет устранена;

– микроконтроллер выводит информацию о состоянии датчика газа (обнаружил он утечку газа или нет) на дисплей и WEB-интерфейс.

2.3.1.5 Функция «Дистанционное управление реле»

Функциональные элементы системы-передатчика: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, кнопка.

Функциональные элементы системы-приемника: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, дисплей, реле, Ethernet-модуль.

Структурная схема проектируемой системы, необходимая для реализации данной функции, представлена на рисунке 19.

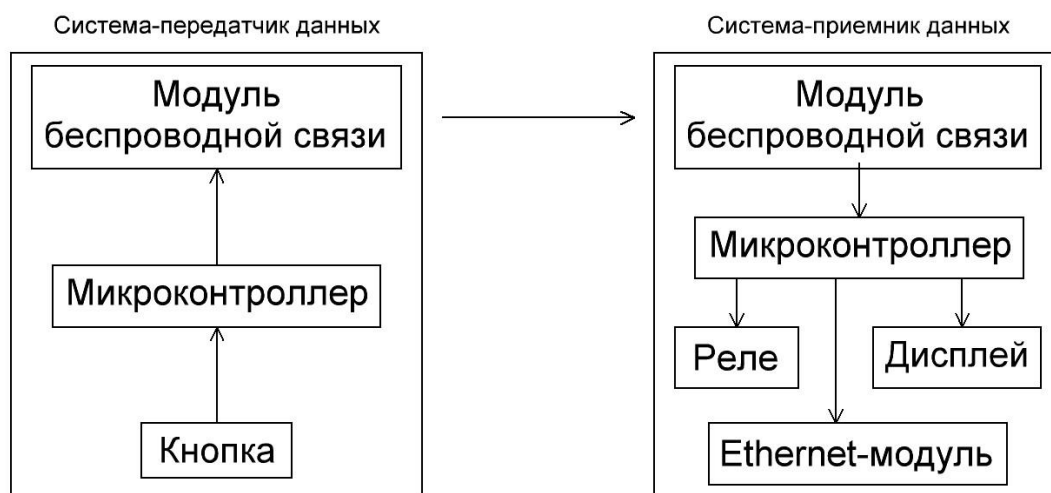


Рисунок 19 – Структурная схема проектируемой системы для функции «Дистанционное управление реле».

Активация функции: при включении микроконтроллеров обеих подсистем.

Данные, которые система-передатчик отправляет системе-приемнику: переменная «send_data.data[3]».

Алгоритм работы системы-передатчика:

- микроконтроллер считывает текущее состояние кнопки (нажата она или нет);

- микроконтроллер записывает состояние кнопки в переменную «send_data.data[3]»;

- микроконтроллер через модуль беспроводной связи отправляет переменную «send_data.data[3]» системе-приемнику.

Алгоритм работы системы-приемника:

- микроконтроллер через модуль беспроводной связи получает переменную «send_data.data[3]» и на основе значения этой переменной получает информацию о состоянии подключенной к микроконтроллеру системы-передатчика кнопки;

- если кнопка, подключенная к микроконтроллеру системы-передатчика, была нажата, то реле «включается» (замыкает контакты) и сохраняет свое состояние неизменным до следующего нажатия кнопки;

- микроконтроллер выводит на дисплей и WEB-интерфейс информацию о состоянии реле («включено» оно или «выключено» в данный момент времени, то есть подает ли оно напряжение на подключенную к нему нагрузку или нет).

2.3.1.6 Функция «Дистанционное управление широтно-импульсной модуляцией»

Широтно-импульсная модуляция – это процесс подачи питающего напряжения на нагрузку, при котором регулируемой величиной является не частота импульсов, а их длительность.

Отношение длительности импульса к периоду следования импульсов называется коэффициентом заполнения ШИМ (рисунок 20).

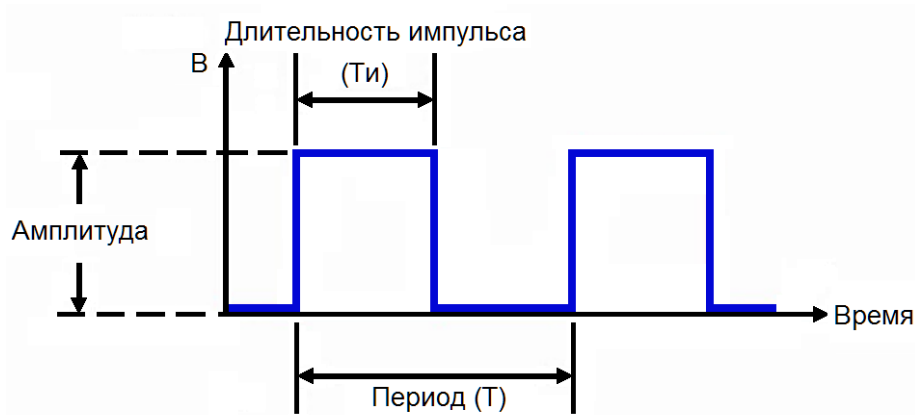


Рисунок 20 – Длительность импульса и период следования импульсов.

Широтно-импульсная модуляция нашла применение во многих сферах электроники. Например, ее используют для регулирования яркости свечения светодиодных источников света или скорости вращения электродвигателей постоянного тока, ее применяют в зарядных устройствах, источниках питания, повышающих или понижающих преобразователях постоянного напряжения.

Диаграммы ШИМ сигналов с разными значениями их коэффициентов заполнения представлены на рисунке 21.

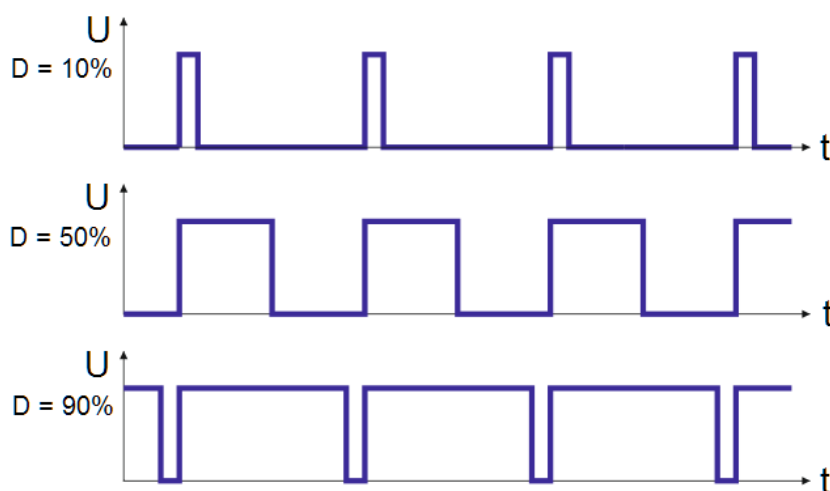


Рисунок 21 – Изменение коэффициента заполнения ШИМ в зависимости от длительности импульсов.

Системная функция «Дистанционное управление широтно-импульсной модуляцией» подразумевает ручное управление коэффициентом заполнения ШИМ.

Для реализации данной функции система-передатчик должна генерировать некоторый управляющий сигнал, который по беспроводному каналу связи передается системе-приемнику. Микроконтроллер системы-приемника на основании этого сигнала должен производить изменение коэффициента заполнения ШИМ сигнала на своем выводе, к которому подключен транзистор. Транзистор необходим для возможности наглядного представления процесса изменения коэффициента ШИМ. Например, к транзистору в качестве нагрузки можно подключить светодиодную ленту или маломощный электродвигатель постоянного тока.

В качестве электронного компонента системы-передатчика, который генерирует необходимый управляющий сигнал, выбрали потенциометр. Вращение ручки потенциометра приводит к изменению его выходного сигнала, благодаря чему данный элемент подходит для ручного регулирования коэффициента заполнения ШИМ.

Функциональные элементы системы-передатчика: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, потенциометр.

Функциональные элементы системы-приемника: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, дисплей, транзистор, Ethernet-модуль.

Структурная схема проектируемой системы, необходимая для реализации данной функции, представлена на рисунке 22.

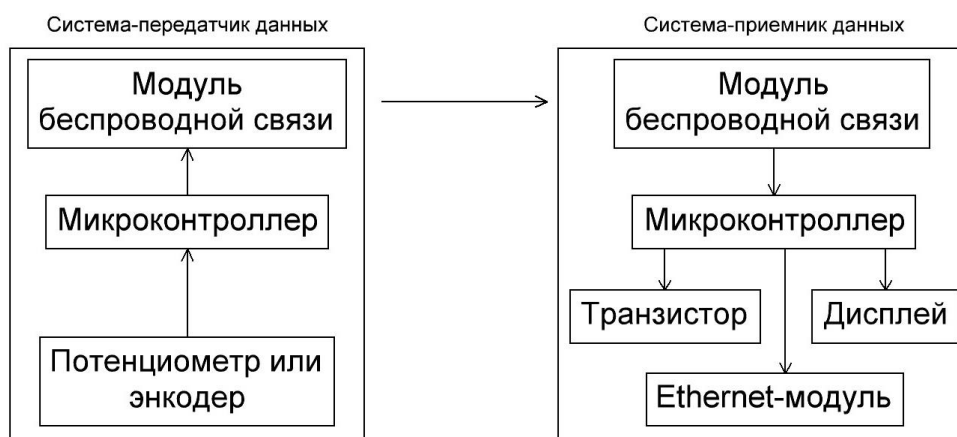


Рисунок 22 – Структурная схема проектируемой системы для функции «Дистанционное управление ШИМ».

Активация функции: при включении микроконтроллеров обеих подсистем.

Данные, которые система-передатчик отправляет системе-приемнику: переменная «send_data.data[4]».

Алгоритм работы системы-передатчика:

- микроконтроллер считывает текущий выходной сигнал потенциометра, изменяющийся в зависимости от положения ручки потенциометра;

- микроконтроллер записывает эти данные в переменную «send_data.data[4]»;

- микроконтроллер через модуль беспроводной связи отправляет переменную «send_data.data[4]» системе-приемнику.

Алгоритм работы системы-приемника:

- микроконтроллер через модуль беспроводной связи получает переменную «send_data.data[4]»;

- микроконтроллер изменяет значение коэффициента заполнения ШИМ на своем выводе, к которому подключен транзистор, в зависимости от значения переменной «send_data.data[4]»;

- микроконтроллер выводит на дисплей и WEB-интерфейс значение коэффициента заполнения ШИМ.

2.3.1.7 Структурные схемы системы-передатчика и системы-приемника

Составили структурную схему системы-передатчика. Функциональные элементы, входящие в ее состав: микроконтроллер; модуль беспроводной связи; счетчик воды; кнопка; датчик постоянного напряжения; датчик температуры и влажности воздуха; датчик газа; потенциометр (рисунок 23).

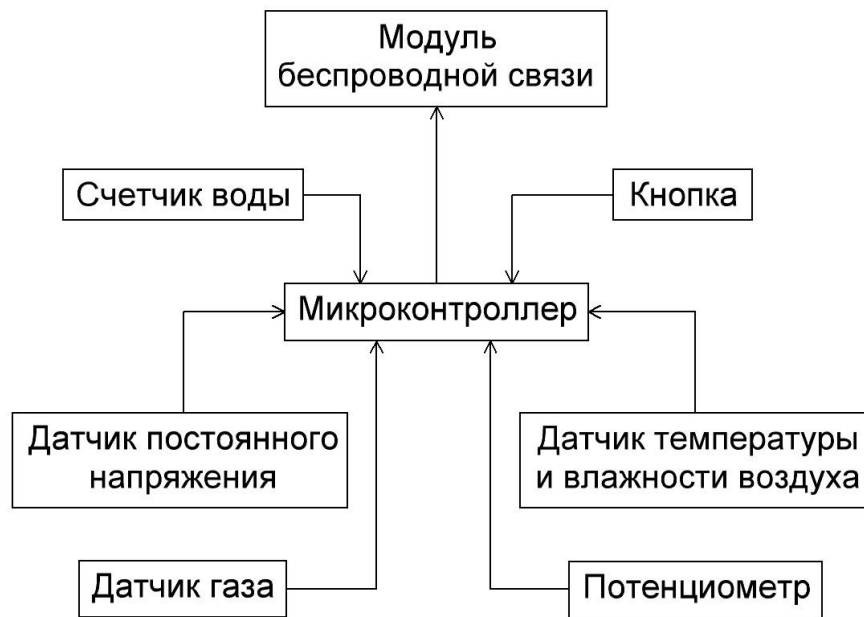


Рисунок 23 – Структурная схема системы-передатчика.

Составили структурную схему системы-приемника (рисунок 24).

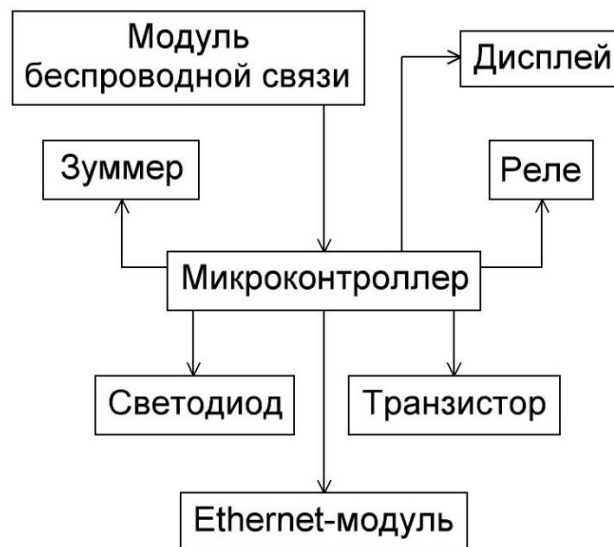


Рисунок 24 – Структурная схема системы-приемника.

Функциональные элементы, входящие в состав системы-приемника: микроконтроллер; модуль беспроводной связи; дисплей; реле; Ethernet-модуль; транзистор; зуммер; светодиод.

2.3.2 Список переменных передаваемого набора данных

На основании вышеприведенного анализа системных функций составили список переменных, которые входят в набор данных, передаваемый от системы-передатчика системе-приемнику. Список этих переменных представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Список переменных, входящих в набор данных

Переменная	Системная функция
«send_data.data[0]», «send_data.data[1]»	Дистанционное измерение влажности («send_data.data[0]») и температуры («send_data.data[1]») воздуха
«send_data.data[2]»	Дистанционное обнаружение утечки газа
«send_data.data[3]»	Дистанционное управление реле
«send_data.data[4]»	Дистанционное управление ШИМ
«send_data.waterLiters»	Дистанционное измерение расхода воды
«send_data.voltage»	Дистанционное измерение постоянного напряжения

Как видно из таблицы 1, в набор данных входят шесть переменных.

2.4 Выбор аппаратного обеспечения системы

2.4.1 Аппаратно-программная платформа

Согласно техническому заданию, проектируемая система дистанционного сбора и обработки данных должна быть основана на открытой аппаратно-программной платформе. В качестве такой платформы выбрали платформу с открытым исходным кодом Arduino.

Аппаратной основой данной платформы являются отладочные платы, основанные на 8-битных микроконтроллерах Atmel AVR. Плата Arduino, такая как, например, Arduino UNO или Arduino Mega 2560, представляет собой печатную плату, основу которой составляют микроконтроллер, USB-

интерфейс, кварцевый резонатор, цепи питания микроконтроллера, светодиодные элементы индикации, аналоговые и цифровые порты ввода-вывода, кнопка перезагрузки микроконтроллера и некоторые другие элементы. Например, на рисунке 25 представлены основные элементы платы Arduino Mega 2560.

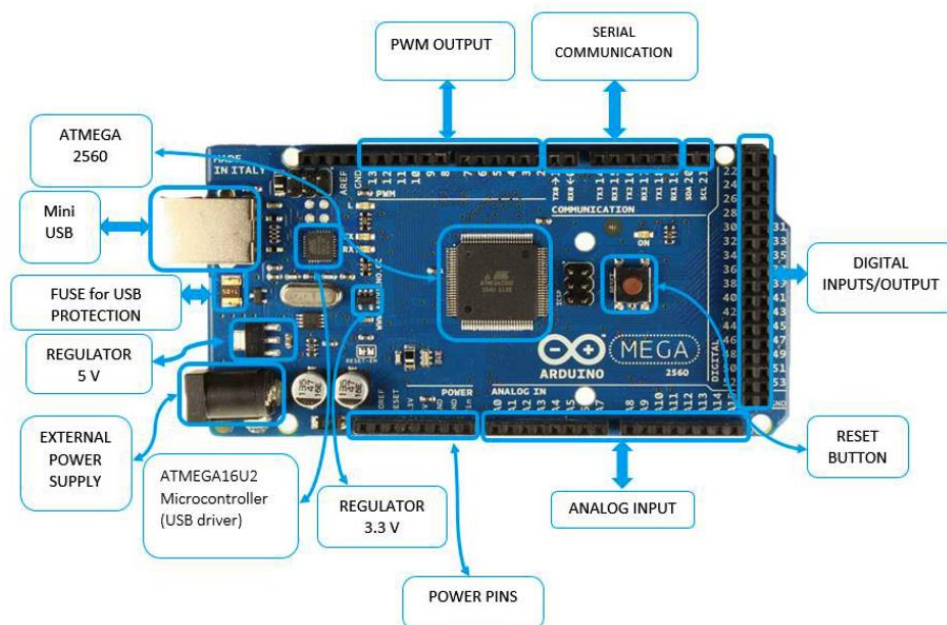


Рисунок 25 – Плата Arduino Mega 2560.

К отладочным платам Arduino могут быть подключены различные электронные компоненты, устройства и модули, например: датчики, дисплеи, реле, электродвигатели, сервоприводы, светодиоды, кнопки. Кроме того, платформа Arduino на программном и аппаратном уровнях поддерживает передачу данных по UART, I2C, SPI, CAN, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, GSM/GPRS, Ethernet, а также передачу данных по радиоканалам 2,4 ГГц и 433 МГц.

Одними из наиболее известных плат Arduino являются платы Arduino Nano, Arduino Uno, Arduino Mega (рисунок 26).



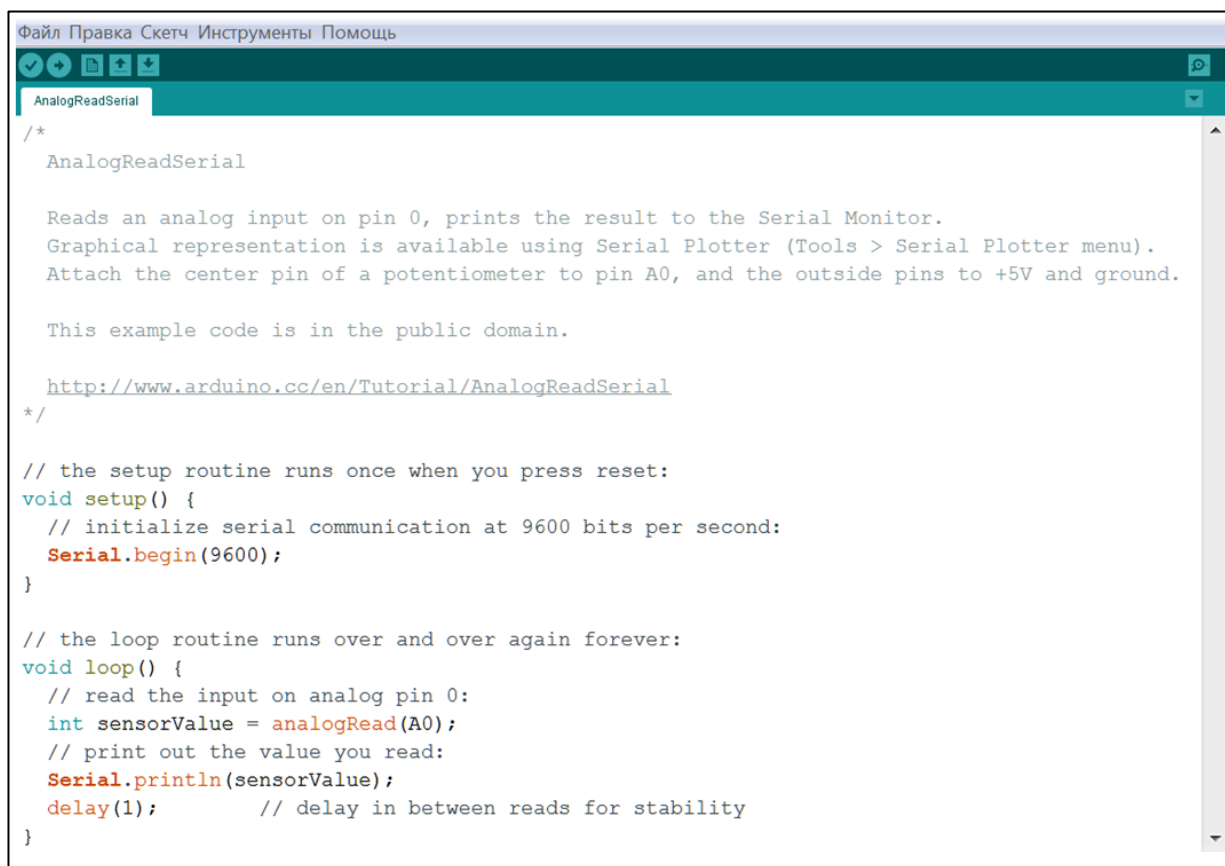
Рисунок 26 – Платы Arduino Nano, Arduino UNO, Arduino Mega 2560.

В таблице 2 приведены некоторые технические параметры данных плат Arduino [17].

Таблица 2 – Основные технические параметры плат Arduino

Параметр	Arduino Nano	Arduino UNO	Arduino Mega 2560
Модель микроконтроллера	ATmega328	ATmega328	ATmega2560
Рабочее напряжение, В	5	5	5
Количество цифровых портов	14	14	54
Количество аналоговых входов	8	6	16
Максимальный ток через информационные порты, мА	40	40	40
Поддержка ШИМ на некоторых выводах микроконтроллера	да	да	да
Флэш-память, кБайт	32	32	256
ОЗУ, кБайт	2	2	8
Тактовая частота, МГц	16	16	16

Помимо аппаратной составляющей, в состав данной платформы входит собственная среда разработки Arduino IDE, используемая для программирования плат Arduino (рисунок 27).



```
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь
AnalogReadSerial
/*
 AnalogReadSerial

 Reads an analog input on pin 0, prints the result to the Serial Monitor.
 Graphical representation is available using Serial Plotter (Tools > Serial Plotter menu).
 Attach the center pin of a potentiometer to pin A0, and the outside pins to +5V and ground.

 This example code is in the public domain.

 http://www.arduino.cc/en/Tutorial/AnalogReadSerial
 */
// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
 // initialize serial communication at 9600 bits per second:
 Serial.begin(9600);
}
// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
 // read the input on analog pin 0:
 int sensorValue = analogRead(A0);
 // print out the value you read:
 Serial.println(sensorValue);
 delay(1); // delay in between reads for stability
}
```

Рисунок 27 – Окно среды разработки Arduino IDE.

В Arduino IDE написание программ осуществляется на языке программирования высокого уровня, основанном на языке программирования C++ [18]. Программирование микроконтроллеров на языке высокого уровня имеет ряд преимуществ перед написанием программ на языке программирования низкого уровня. Программы, написанные на языке низкого уровня, достаточно трудны для чтения и отладки, при их создании приходится часто обращаться к справочной документации на используемую модель микроконтроллера, что замедляет и усложняет процесс программирования. Также стоит отметить, что Arduino IDE поддерживает использование программных библиотек. Программная библиотека – это набор модулей, содержащих в себе некоторые функции, классы, переменные,

команды. Использование программных библиотек позволяет при необходимости встраивать такие модули, представляющие собой решение какой-то конкретной задачи, в создаваемую программу, что ускоряет процесс ее написания и упрощает процесс ее отладки. Arduino IDE имеет ряд стандартных программных библиотек, но также она поддерживает подключение сторонних библиотек. В Arduino IDE есть библиотеки для взаимодействия плат Arduino с подключаемыми к ним электронными модулями, платами расширения, а также библиотеки для работы с микроконтроллерными регистрами, счетчиками, таймерами и т.п.

Таким образом, Arduino IDE представляет собой среду разработки, подходящую для использования в рамках данной работы.

2.4.2 Выбор управляющих устройств

Как было сказано ранее, управляющие устройства системы-передатчика и системы-приемника являются главными функциональными элементами данных подсистем. Так как в качестве аппаратно-программной платформы проектируемой системы выбрана платформа Arduino, то и в качестве управляющих устройств обеих систем должны выступать микроконтроллерные платы Arduino.

Согласно таблице 2, платы Arduino имеют ряд параметров, которыми они отличаются друг от друга. Одним из них является количество цифровых и аналоговых портов, имеющих на плате. Это значит, что перед выбором конкретных плат Arduino, которые должны быть использованы в качестве управляющих устройств системы-передатчика и системы-приемника, необходимо сначала выбрать конкретные модели всех электронных устройств и модулей, которые должны быть к ним подключены.

Список элементов системы-передатчика, конкретные модели которых надо выбрать: плата Arduino, модуль беспроводной связи, счетчик воды, датчик газа, датчик постоянного напряжения, датчик температуры и влажности воздуха, потенциометр, кнопка.

Список элементов системы-приемника, конкретные модели которых надо выбрать: плата Arduino, модуль беспроводной связи, зуммер, реле, дисплей, светодиод, транзистор, Ethernet-модуль.

Модели всех элементов, которые необходимо выбрать для каждой из подсистем, должны быть на аппаратном и программном уровнях совместимы с платформой Arduino.

2.4.3 Модули беспроводной связи

В качестве модуля беспроводной связи системы-передатчика и системы-приемника данных выбрали модуль NRF24L01, основанный на микросхеме NRF24L01+ (рисунок 28).

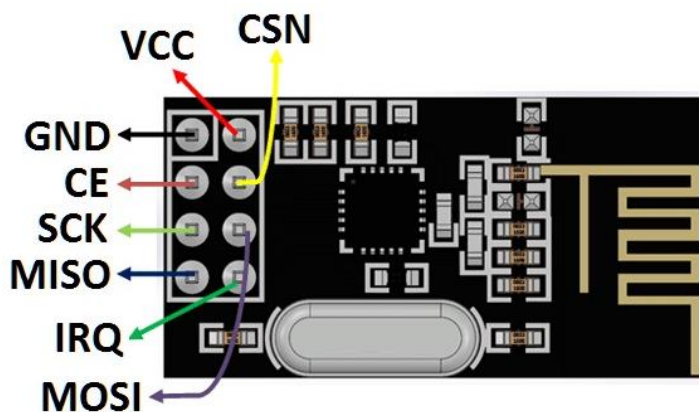


Рисунок 28 – Модуль беспроводной связи NRF24L01.

Данный модуль имеет низкую стоимость, достаточный для многих задач радиус действия (до 100 метров на открытой местности) и невысокое энергопотребление.

Радиомодуль NRF24L01 передает и принимает данные на радиочастотах от 2,4 до 2,483 ГГц. Данный диапазон называется ISM-диапазоном, на его частотах работают, в том числе, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee.

Антенна NRF24L01 выполнена непосредственно на печатной плате модуля. Модуль может передавать и принимать радиосигналы на расстоянии до 100 м на открытой местности и на расстоянии до 30 м в закрытом помещении. Максимальная дальность действия модуля сильно зависит от материала сред, встречающихся на пути прохождения радиосигнала.

Назначение выводов модуля NRF24L01 описано в таблице 3.

Таблица 3 – Назначение выводов модуля NRF24L01

Вывод	Назначение
VCC	На эти выводы подается питающее напряжение (DC)
GND	
MOSI	SPI-интерфейс для подключения модуля NRF24L01 к SPI-шине
MISO	
SCK	
CE	
CSN	
IRQ	Сигнал прерывания для подключенного к NRF24L01 микроконтроллера

Основные технические параметры NRF24L01: напряжение питания – от 1,9 до 3,6 В, максимальный ток потребления при передаче данных – 12,5 мА, максимальная скорость передачи данных – 2 Мбит/с [19].

Модуль NRF24L01 в любой момент времени может выступать либо в роли передатчика данных, либо в роли приемника данных. Режим работы модуля можно задавать программно с помощью подключенного к нему микроконтроллера. Модуль, выступающий в роли передатчика, и модуль, выступающий в роли приемник, должны работать на одном и том же канале обмена данными. Для передачи данных между двумя модулями используется один из 125 возможных каналов связи, каждый из которых работает на своей частоте.

Данные, которыми модули NRF24L01 обмениваются друг с другом, представляют собой пакеты данных [20]. Структура пакета данных состоит из следующих полей: преамбула (1 байт), адрес (3-5 байт), управляющее поле (9 бит), поле данных (0-32 байта), CRC - контрольная сумма (1-2 байта).

2.4.4 Датчик постоянного напряжения

Выбрали модуль датчика постоянного напряжения, способный измерять постоянное напряжение в диапазоне от 0 до 25 В (рисунок 29).



Рисунок 29 – Датчик постоянного напряжения на основе резистивного делителя напряжения.

Модуль имеет выводы «VCC» и «GND», к которым подключается непосредственно сам источник постоянного напряжения. Два других вывода «+» и «-» предназначены для питания датчика. На вывод «S» датчик подает свой выходной сигнал.

Модуль основан на схеме делителя напряжения, выполненного на двух резисторах с номиналами $R1 = 30 \text{ кОм}$ и $R2 = 7,5 \text{ кОм}$ (рисунок 30).

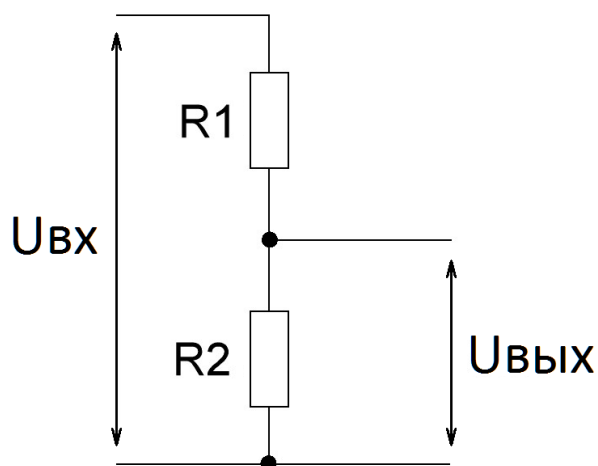


Рисунок 30 – Делитель напряжения на резисторах.

Максимальное выходное напряжение датчика – 5 В, максимальное входное напряжение датчика – 25 В.

Назначение выводов данного датчика описано в таблице 4.

Таблица 4 – Назначение выводов датчика напряжения

Вывод	Назначение
VCC	На эти выводы подается измеряемое напряжения (0-25 В DC)
GND	
S	Информационный вывод (аналоговый)
+	На эти выводы подается питающее напряжение (DC)
-	

С помощью платы Arduino можно измерить выходное напряжение датчика. Для этого нужно использовать функцию `AnalogRead()`, где в скобках указывается вывод платы Arduino, на который подается выходной сигнал датчика. Входной аналого-цифровой преобразователь (АЦП) платы Arduino является 10-битным, поэтому выходное напряжение датчика, поданное на АЦП, преобразовывается в число из диапазона от 0 до 1023.

Расчет $U_{\text{вых}}$ производится следующим образом:

$$U_{\text{вых}} = \frac{\text{analogRead()} \cdot 5\text{В}}{1023}; \quad (1)$$

Например, выходное значение АЦП Arduino равно 1023. Тогда, чтобы узнать, чему равно напряжение, поданное на АЦП:

$$U_{\text{вых}} = \frac{\text{analogRead()} \cdot 5\text{В}}{1023} = \frac{1023 \cdot 5\text{В}}{1023} = 5\text{В}. \quad (2)$$

Входное напряжение датчика в пять раз больше его выходного напряжения, поэтому:

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{вых}} \cdot 5 = 5\text{В} \cdot 5 = 25\text{В}. \quad (3)$$

Таким образом, измерив выходное напряжение датчика, можно узнать его входное напряжение.

2.4.5 Выбор дисплея

В качестве графического устройства вывода системной информации выбрали символьный LCD-дисплей формата 20x04 (рисунок 31).

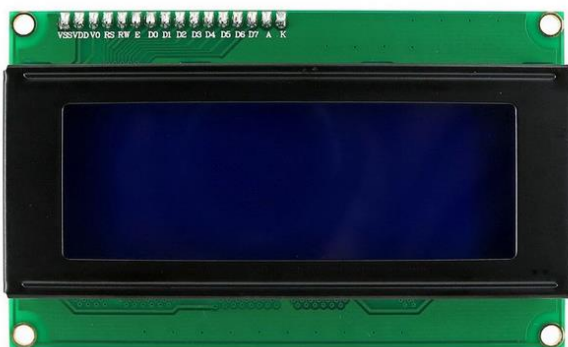


Рисунок 31 – LCD-дисплей формата 20x04.

Данный дисплей имеет четыре строки, на каждой из которых может быть отображено двадцать символов. Цвет подсветки дисплея – синий, цвет символов – белый.

Все шестнадцать выводов дисплея имеют паяное соединение с платой I2C-преобразователя, основанной на 8-битной микросхеме PCF8574T. Данный преобразователь необходим для подключения LCD-дисплея к информационной I2C-шине. Кроме того, регулировка контрастности подсветки дисплея производится путем вращения потенциометра, расположенного на плате I2C-преобразователя.

Назначение выводов выбранной модели LCD-дисплея описано в таблице 5.

Таблица 5 – Назначение выводов LCD-дисплея 20x04

Вывод	Назначение
VCC	На эти выводы подается питающее напряжение (DC)
GND	
SDA	I2C-интерфейс
SCL	

Основные технические параметры выбранной модели модуля LCD-дисплея: напряжение питания – 5 В, потребляемый ток подсветки дисплея –

120 мА, максимальный ток потребления дисплея при выключенной подсветке – 1,4 мА [21].

2.4.6 Датчик температуры и влажности воздуха

В качестве датчика температуры и влажности воздуха выбрали модуль датчика DHT11 (рисунок 32).

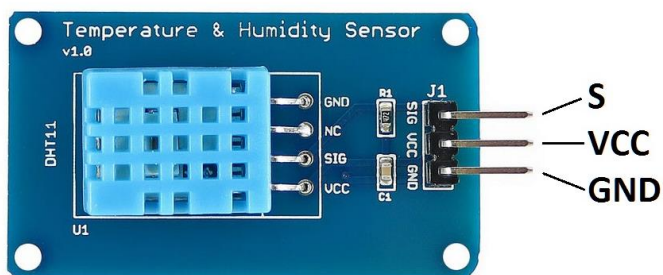


Рисунок 32 – Модуль датчик температуры и влажности воздуха DHT11.

Датчик DHT11 содержит 8-битный микроконтроллер, компонент для измерения температуры воздуха, компонент для измерения влажности воздуха. Модуль DHT11 также содержит подтягивающий резистор 10 кОм, включенный между выводами датчика S и GND. Для среды Arduino IDE существуют специальные программные библиотеки для DHT11, в которых реализован протокол обмена данными между датчиком и микроконтроллером [22].

Назначение выводов модуля датчика DHT11 описано в таблице 6.

Таблица 6 – Назначение выводов модуля датчика DHT11

Вывод	Назначение
VCC	На эти выводы подается питающее напряжение (DC)
GND	
S	Информационный вывод (цифровой)

Основные технические параметры выбранной модели датчика температуры и влажности воздуха: напряжение питания – от 3,3 до 5 В,

потребляемый ток в момент запроса информации от внешнего устройства – 2,5 мА, потребляемый ток в режиме ожидания – 100 мкА. Датчик измеряет температуру воздуха в диапазоне от 0 до 50 °С, относительную влажность воздуха датчик измеряет в диапазоне от 20 до 90 % [23].

2.4.7 Потенциометр

Выбрали модуль потенциометра RV09 (рисунок 33).

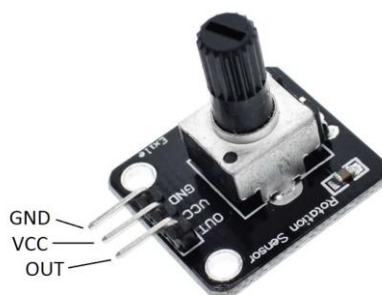


Рисунок 33 – Потенциометр RV09.

Назначение выводов модуля потенциометра описано в таблице 7.

Таблица 7 – Назначение выводов модуля потенциометра RV09

Вывод	Назначение
VCC	На эти выводы подается питающее напряжение (DC)
GND	
OUT	Информационный вывод (аналоговый)

Основные технические параметры выбранной модели потенциометра: напряжение питания – от 3,3 до 5 В, угол поворота ручки потенциометра – 270 °С, выходной сигнал потенциометра – аналоговый.

2.4.8 Модуль реле

Выбрали одноканальный модуль реле KY-019 (рисунок 34).

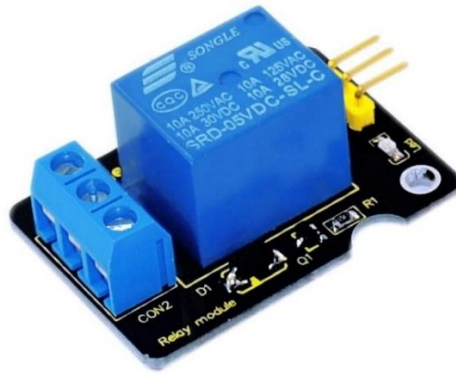


Рисунок 34 – Модуль одноканального реле.

Назначение выводов модуля реле KY-019 описано в таблице 8.

Таблица 8 – Назначение выводов модуля реле KY-019

Вывод	Назначение
VCC	На эти выводы подается питающее напряжение (DC)
GND	
S	На этот вывод подается управляющий сигнал для размыкания/замыкания контактов реле

Данный модуль основан на реле SRD-05VDC-SL-C, которое способно коммутировать как постоянное напряжение величиной до 30 В при токе до 10 А, так и переменное напряжение величиной до 250 В при токе до 10 А. Ток потребления реле составляет 75 мА [24].

2.4.9 Транзистор

Выбрали модуль MOSFET-транзистора IRF520 (рисунок 35)

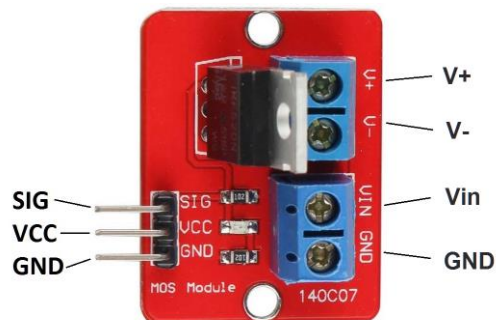


Рисунок 35 – Модуль MOSFET-транзистора IRF520.

MOSFET-транзистор – это полевой транзистор с изолированным затвором. К преимуществам полевых транзисторов над биполярными транзисторами можно отнести малую мощность управления, большое входное сопротивление, высокую скорость переключения.

Назначение выводов модуля MOSFET-транзистора IRF520 описано в таблице 9.

Таблица 9 – Назначение выводов модуля MOSFET-транзистора IRF520

Вывод	Назначение
VCC	Не используется
GND	Контакт «-» для подачи управляющего сигнала
SIG	Контакт «+» для подачи управляющего сигнала
VIN	Контакт «+» источника питания
GND	Контакт «-» источника питания
V+	Контакт «+» нагрузки
V-	Контакт «-» нагрузки

Основные технические параметры выбранного модуля транзистора: рабочее напряжение – от 3,3 до 5 В, выходное напряжение – от 0 до 24 В, выходной ток – до 5 А [25].

Транзистором можно управлять ШИМ сигналом, тем самым изменяя значение напряжения, подаваемого с выводов транзистора на подключенную к нему нагрузку. Например, подключив к транзистору светодиодную ленту, можно регулировать яркость ее свечения, а подключив к транзистору электродвигатель постоянного тока, можно регулировать скорость его вращения.

2.4.10 Кнопка

Для системы-передатчика выбрали модуль тактовой кнопки KY-004 (рисунок 36).

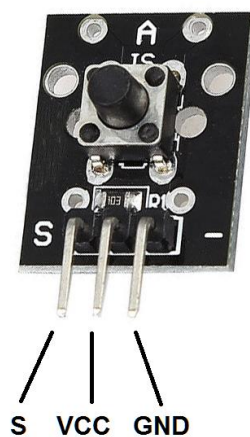


Рисунок 36 – Модуль кнопки KY-004.

Модуль имеет встроенный подтягивающий резистор номиналом 10 кОм, включенный между сигнальным выводом S и выводом питания VCC.

Назначение выводов модуля кнопки описано в таблице 10.

Таблица 10 – Назначение выводов модуля кнопки KY-004

Вывод	Назначение
VCC	На эти выводы подается питающее напряжение (5В DC)
GND	
S	Информационный вывод (цифровой)

Кнопка не фиксируемая. При нажатии на кнопку ее контакты замыкаются, а при отпуске – размыкаются.

Основные технические параметры модуля кнопки KY-004: коммутируемое напряжение до 12 В при токе до 50 мА, сопротивление кнопки при замкнутых контактах составляет 50 мОм, сопротивление кнопки при разомкнутых контактах составляет 100 МОм [26].

2.4.11 Зуммер

Выбрали модуль пассивного зуммера KY-006 (рисунок 37).

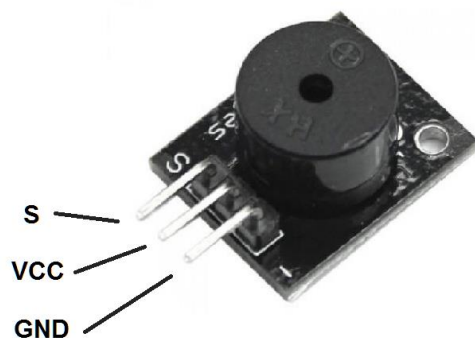


Рисунок 37 – Модуль пассивного зуммера KY-006.

Назначение выводов модуля пассивного зуммера описано в таблице 11.

Таблица 11 – Назначение выводов модуля зуммера KY-006

Вывод	Назначение
S	На эти выводы подается питающее напряжение (DC)
GND	

Основные технические параметры выбранного модуля пассивного зуммера KY-006: максимальное напряжение питания – 5 В, частота генерируемого сигнала – до 5 кГц [27].

2.4.12 Светодиод

Выбрали модуль RGB-светодиода KY-016. Модуль представляет собой печатную плату с самим RGB-светодиодом и тремя SMD резисторами по 150 Ом – для каждого из трех светодиодов предназначен свой резистор, ограничивающий протекающий через светодиод ток (рисунок 38).

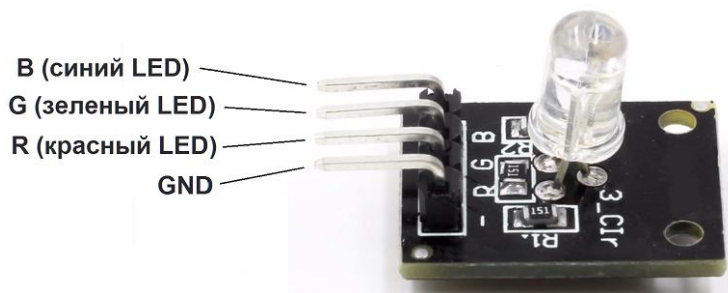


Рисунок 38 – Модуль RGB-светодиода KY-016.

Назначение выводов модуля RGB-светодиода KY-016 описано в таблице 12.

Таблица 12 – Назначение выводов модуля RGB-светодиода KY-016

Вывод	Назначение
R	Сигнальный вывод (красный светодиод)
G	Сигнальный вывод (зеленый светодиод)
B	Сигнальный вывод (синий светодиод)
GND	Земля

Подавая управляющие сигналы на соответствующие выводы KY-016, можно менять яркость свечения каждого из светодиодов, тем самым получая желаемый цвет. Выбор RGB-светодиода обоснован возможностью изменения цвета его свечения, что при необходимости позволит использовать один светодиод вместо нескольких, имеющих разные цвета свечения.

2.4.13 Датчик газа

Для обнаружения утечки газа выбрали модуль датчика газа на основе газоанализатора MQ-2. Данный датчик способен измерять концентрацию содержащихся в воздухе водорода, пропана, метана, обнаруживать взвешенные в воздухе частицы дыма [28].

Модуль датчика газа MQ-2 изображен на рисунке 39.

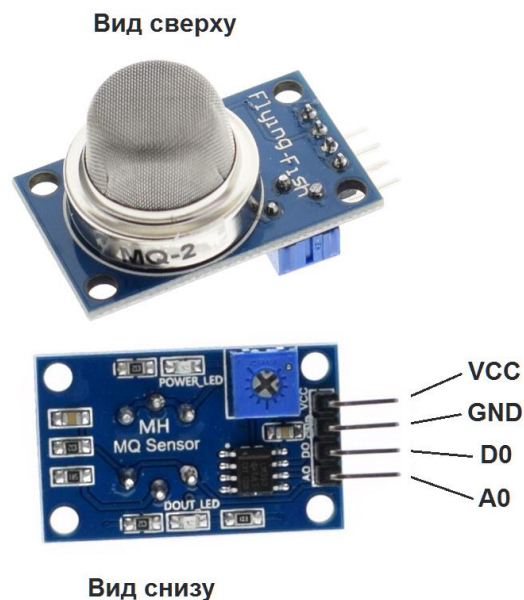


Рисунок 39 – Модуль датчика газа MQ-2.

Назначение выводов модуля датчика газа MQ-2 описано в таблице 13.

Таблица 13 – Назначение выводов модуля датчика газа MQ-2

Вывод	Назначение
VCC	На эти выводы подается питающее напряжение (DC)
GND	
A0	Сигнальный вывод (аналоговый)
D0	Сигнальный вывод (цифровой)

Рабочий ток модуля датчика газа MQ-2 составляет 150 мА, а рабочее напряжение – 5 В.

2.4.14 Счетчик воды

В качестве устройства для измерения расхода воды выбрали модель импульсного счетчика воды YF-S201 (рисунок 40).



Рисунок 40 – Импульсный счетчик воды YF-S201.

Назначение выводов импульсного счетчика воды YF-S201 описано в таблице 14.

Таблица 14 – Назначение выводов счетчика воды YF-S201

Вывод модуля	Назначение
VCC	На эти выводы подается питающее напряжение (DC)
GND	
S	Информационный вывод (импульсный)

Принцип работы данной модели счетчика воды следующей. Внутри его корпуса находится пластиковая крыльчатка с прикрепленным к ней магнитом и защищенный от контакта с водой датчик Холла. Крыльчатка под давлением протекающей через счетчик воды начинает совершать вращение. В какой-то момент времени лопасть крыльчатки, к которой прикреплен магнит, проходит рядом с датчиком Холла, который регистрирует появившееся магнитное поле и генерирует электрический импульс. Этот импульс, снятый вывода «S» счетчика, может быть считан другим электронным устройством (рисунок 41).

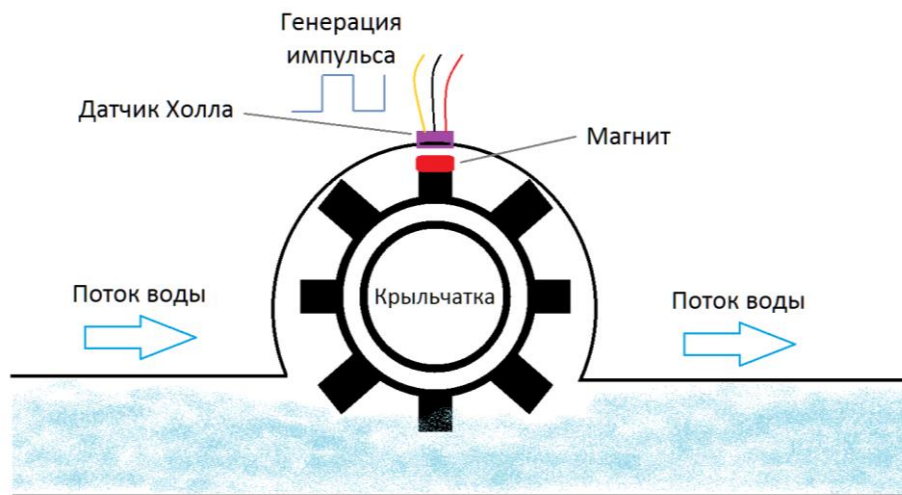


Рисунок 41 – Принцип действия импульсного счетчика воды YF-S201 на основе датчика Холла.

Основные технические параметры выбранной модели счетчика воды YF-S201: напряжение питания – от 5 до 18 В, максимальный ток потребления – 15 мА, количество генерируемых счетчиком импульсов при протекании через него одного литра воды – 450 [29].

2.4.15 Ethernet-модуль

Выбрали Ethernet-модуль W5500, основанный на одноименной микросхеме Wiznet W5500 [30]. Внешний вид данного модуля представлен на рисунке 42.



Рисунок 42 – Ethernet-модуль W5500.

Назначение выводов Ethernet-модуля W5500 описано в таблице 15.

Таблица 15 – Назначение выводов Ethernet-модуля W5500.

Вывод	Назначение
5V	На эти выводы подается питающее напряжение (DC)
3.3V	
GND	
MOSI	SPI-интерфейс для подключения Ethernet-модуля W5500 к SPI-шине
MISO	
SCS	
SCLK	
INT	Сигнал прерывания, генерируемый W5500
NC	NOT CONNECTED – вывод не используется
RST	Прием сигнала для перезагрузки модуля W5500

Компания WizNet специализируется на выпуске Ethernet-контроллеров для различных сетевых устройств. Выбранный Ethernet-модуль построен на микросхеме W5500 и имеет ряд достоинств по сравнению с другими Ethernet-модулями, построенными на микросхемах компании WizNet, такими как, например, W5100: сниженная рабочая температура микросхемы, увеличенная скорость SPI-интерфейса, наличие аппаратного межсетевого экрана (Firewall). Межсетевой экран предназначен для фильтрации проходящего через него информационного трафика.

Кроме того, Ethernet-модуль W5500 имеет важное преимущество над другим известным и совместимым с платформой Arduino Ethernet-модулем ENC28J60, а именно – аппаратно-реализованный TCP/IP стек с четвертой версии протокола IP (IPv4). Ethernet-модуль W5500 имеет разъем RJ-45 для подключения через соответствующий Ethernet-кабель к другим сетевым устройствам.

Структурная схема Ethernet-модуля W5500 включает в себя:

- аппаратный TCP/IP стек;
- аппаратный MAC-уровень;
- блоки Ethernet PHY и MII Manager, необходимые для согласования аппаратного TCP/IP стека и непосредственно Ethernet-уровня;
- 32 кБ внутреннего буфера TX/RX;
- SPI-интерфейс;
- согласующий трансформатор для разъема RJ45;
- кварцевый резонатор с тактовой частотой 25 МГц.

Основные технические параметры Ethernet-модуля W5500: напряжение питания – как 5 В, так и 3,3 В, максимальный ток потребления – 200 мА.

2.4.16 Управляющие платы Arduino

В качестве управляющих устройств системы-передатчика и системы-приемника выбрали микроконтроллер Arduino Nano (рисунок 43).

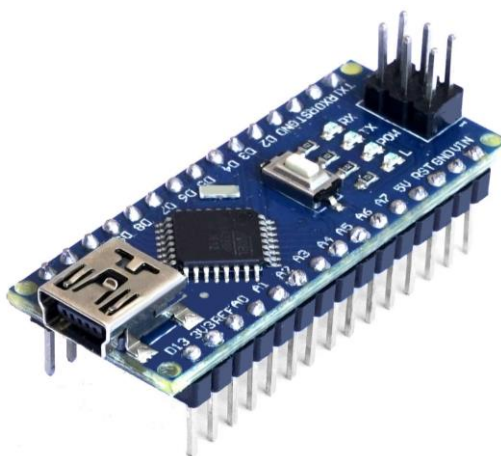


Рисунок 43 – Плата Arduino Nano.

Основные технические параметры платы Arduino Nano представлены в таблице 2. Распиновка платы Arduino Nano и назначение ее контактов представлено на рисунке 44.

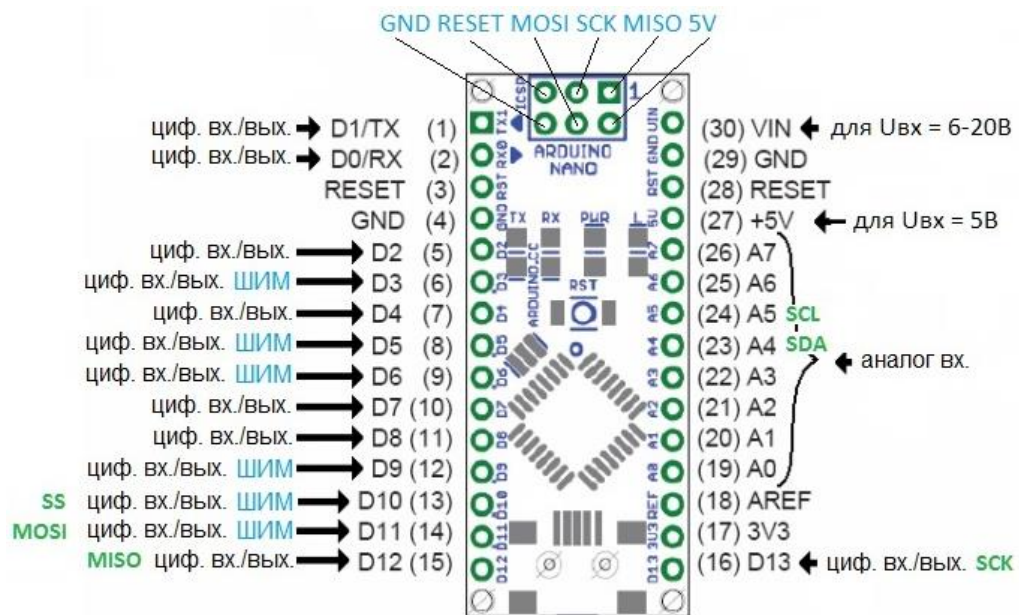


Рисунок 44 – Распиновка Arduino Nano.

Для удобства подключения к платам Arduino Nano выбранных электронных модулей решили использовать специальные платы расширения (рисунок 45).

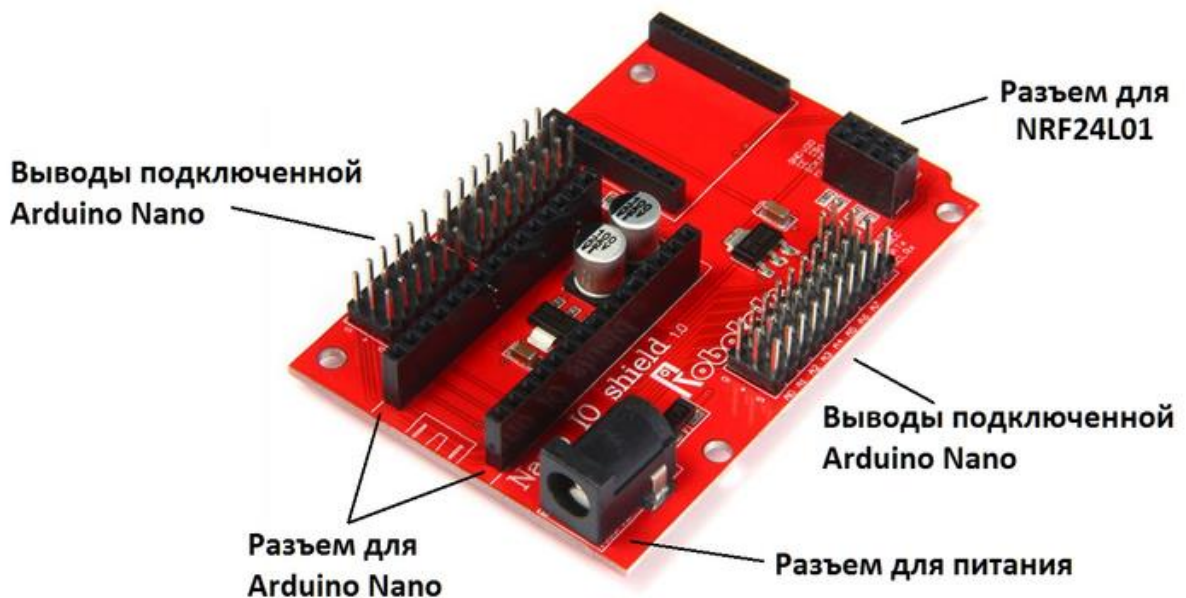


Рисунок 45 – Плата расширения Arduino Nano.

В выбранном плате расширения есть разъем для подключения модуля NRF24L01, разъем для подключения Arduino Nano, разъем питания Arduino Nano. Выводы платы Arduino Nano в данной плате представлены

соответствующими контактами. Кроме того, данная плата расширения обладает несколькими рядами контактов, дублирующих выводы GND и VCC платы Arduino Nano, за счет чего для подключения к Arduino Nano различных электронных модулей не требуется использование проводов.

2.5 Расчет максимальных токов потребления подсистем

Максимальный ток, который может выдать вывод «5V» платы Arduino Nano, равен 800 мА. Соответственно, необходимо сосчитать суммарный максимальный ток потребления устройств системы-передатчика и определить, хватит ли 800 мА для питания данной подсистемы. То же самое необходимо сделать для системы-приемника.

В таблице 16 представлены максимальные токи потребления электронных элементов системы-передатчика. Устройства, почти или вовсе не потребляющие электрический ток, в данную таблицу не вошли.

Таблица 16 – Ток потребления электронных элементов системы-передатчика

Электронное устройство	Максимальный ток потребления
Модуль датчика газа MQ-2	150 мА
Плата Arduino Nano	30 мА
Модуль беспроводной связи NRF24L01	12,5 мА
Счетчик воды YF-S201	15 мА
Модуль датчика температуры и влажности воздуха DHT11	2,5 мА

Как видно из таблицы 16, максимальный ток потребления системы-передатчика составляет примерно 210 мА, что существенно меньше максимально допустимого тока 800 мА.

В таблице 17 представлены максимальные токи потребления электронных элементов системы-приемника. Устройства, почти или вовсе не потребляющие электрический ток, в данную таблицу не вошли.

Таблица 17 – Ток потребления электронных элементов системы-приемника

Электронное устройство	Максимальный ток потребления
Модуль беспроводной связи NRF24L01	12,5 мА
Плата Arduino Nano	30 мА
LCD-дисплей 20x04	120 мА
Модуль реле КУ-019 (при замкнутых контактах реле)	75 мА
Ethernet-модуль W5500	200 мА
Один светодиод модуля КУ-016	20 мА

Как видно из таблицы 17, максимальный ток потребления системы-приемника составляет примерно 460 мА, что входит в пределы допустимого значения 800 мА.

2.6 Разработка структурных-схем подсистем с выбранным аппаратным обеспечением

Структурная схема системы-передатчика с выбранным аппаратным обеспечением представлена на рисунке 46.

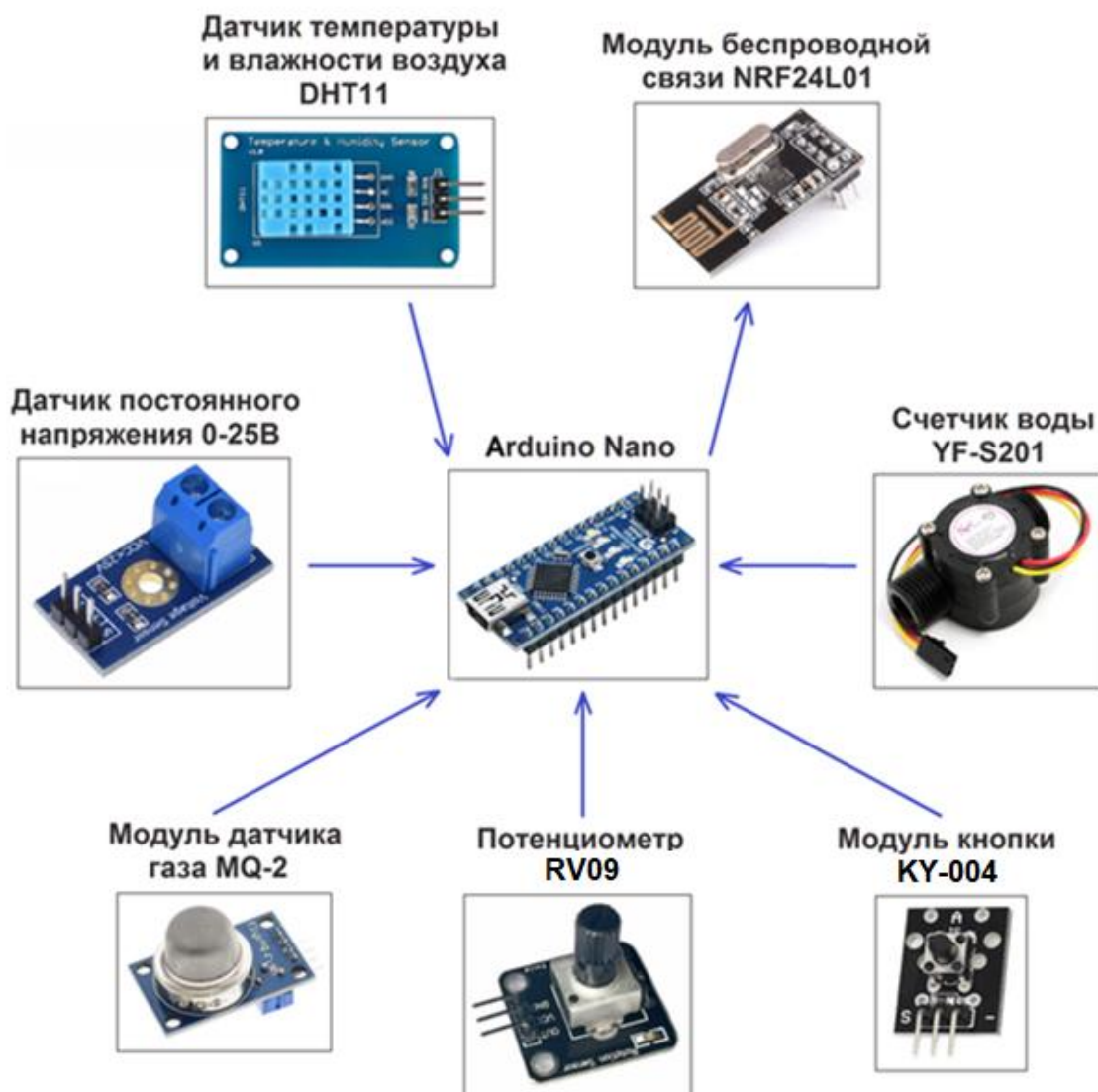


Рисунок 46 – Структурная схема системы-передатчика с выбранной компонентной базой.

Структурная схема системы-приемника с выбранным аппаратным обеспечением представлена на рисунке 47.

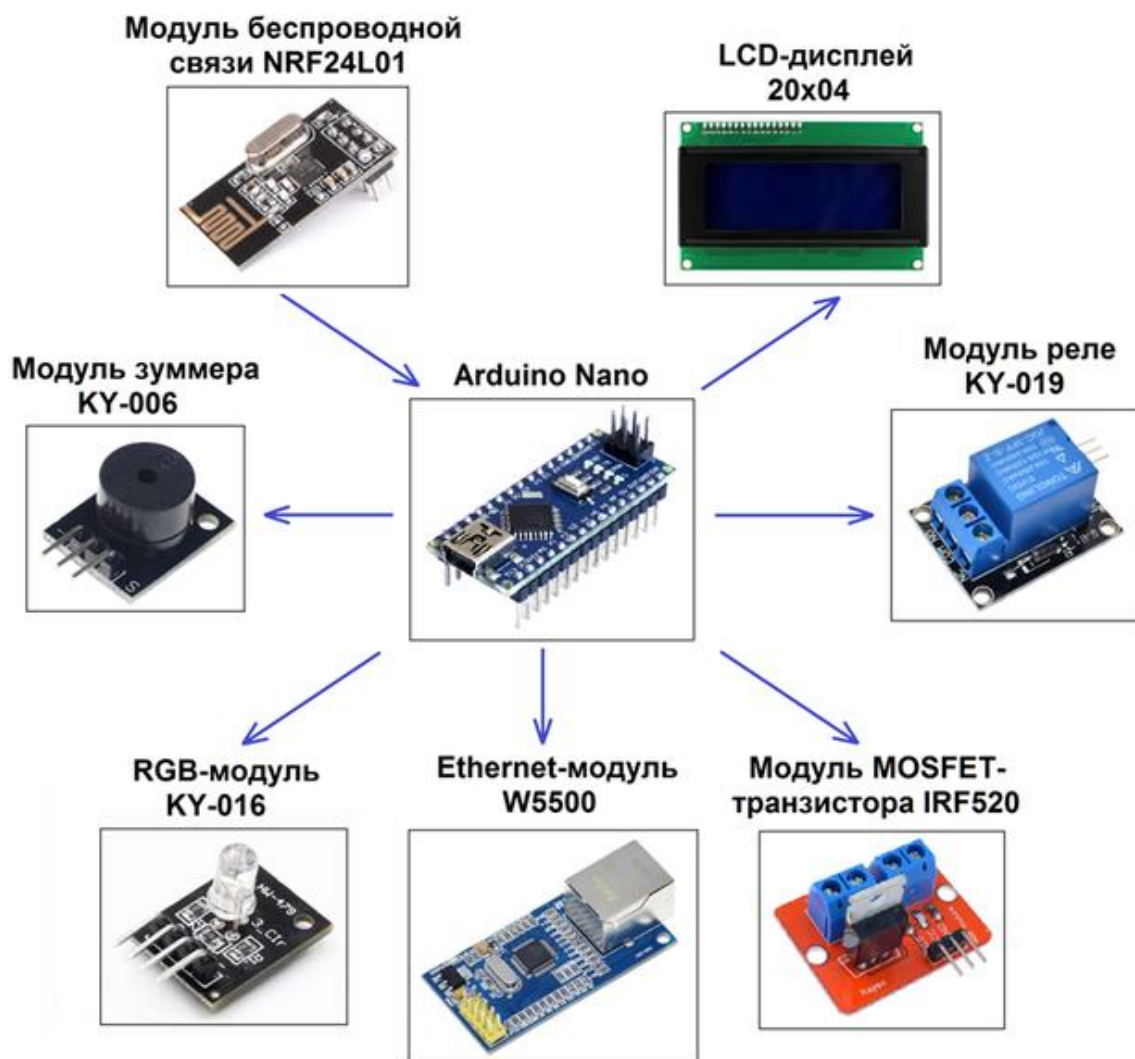


Рисунок 47 – Структурная схема системы-приемника с выбранной компонентной базой.

Таким образом, проектируемая система имеет модульную конструкцию, необходимую для выполнения технического задания.

2.7 Разработка принципиальных схем подсистем

Электрические принципиальные схемы системы-передатчика и системы-приемника представлены на рисунках 48 и 49 соответственно.

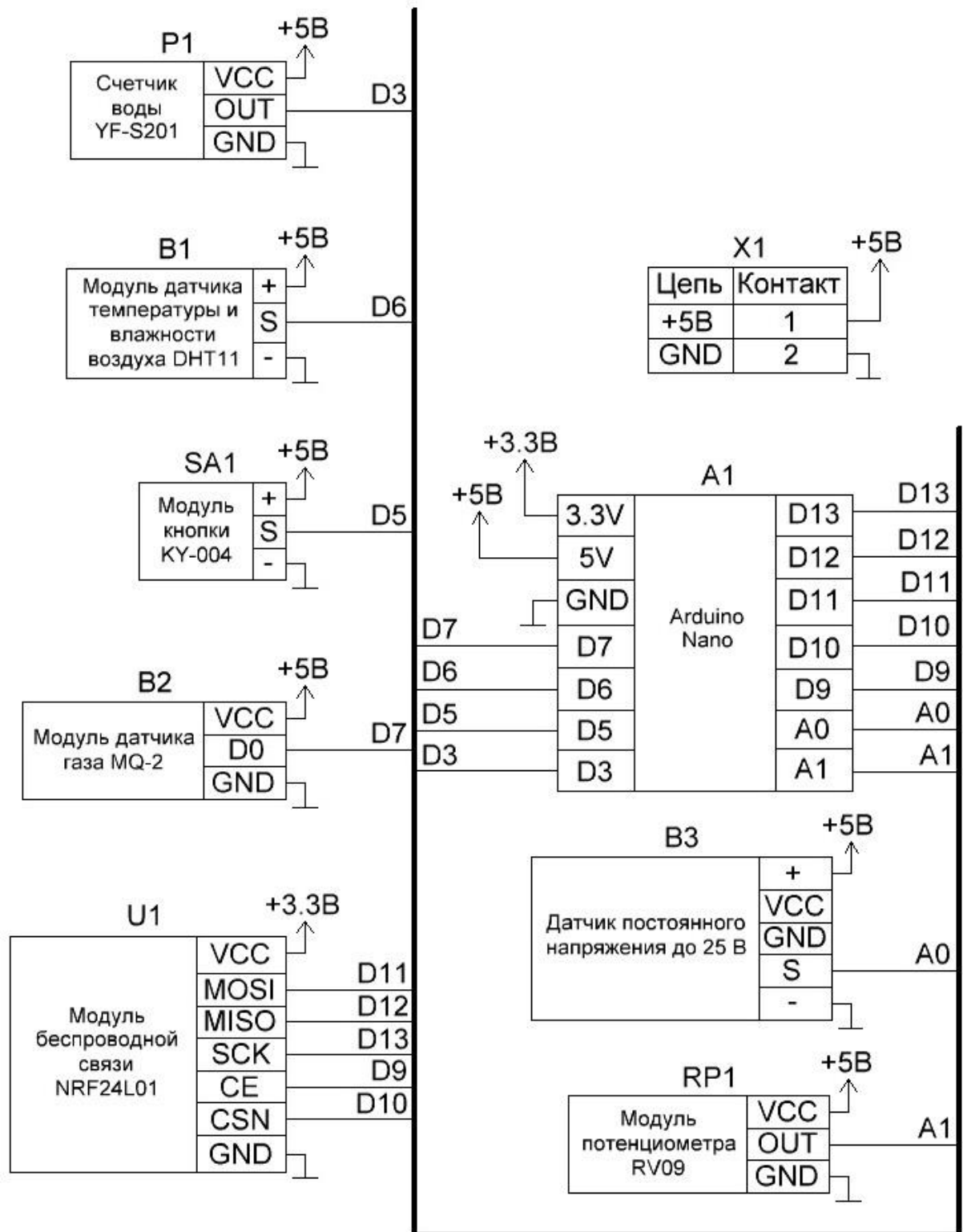


Рисунок 48 – Электрическая принципиальная схема системы-передатчика.

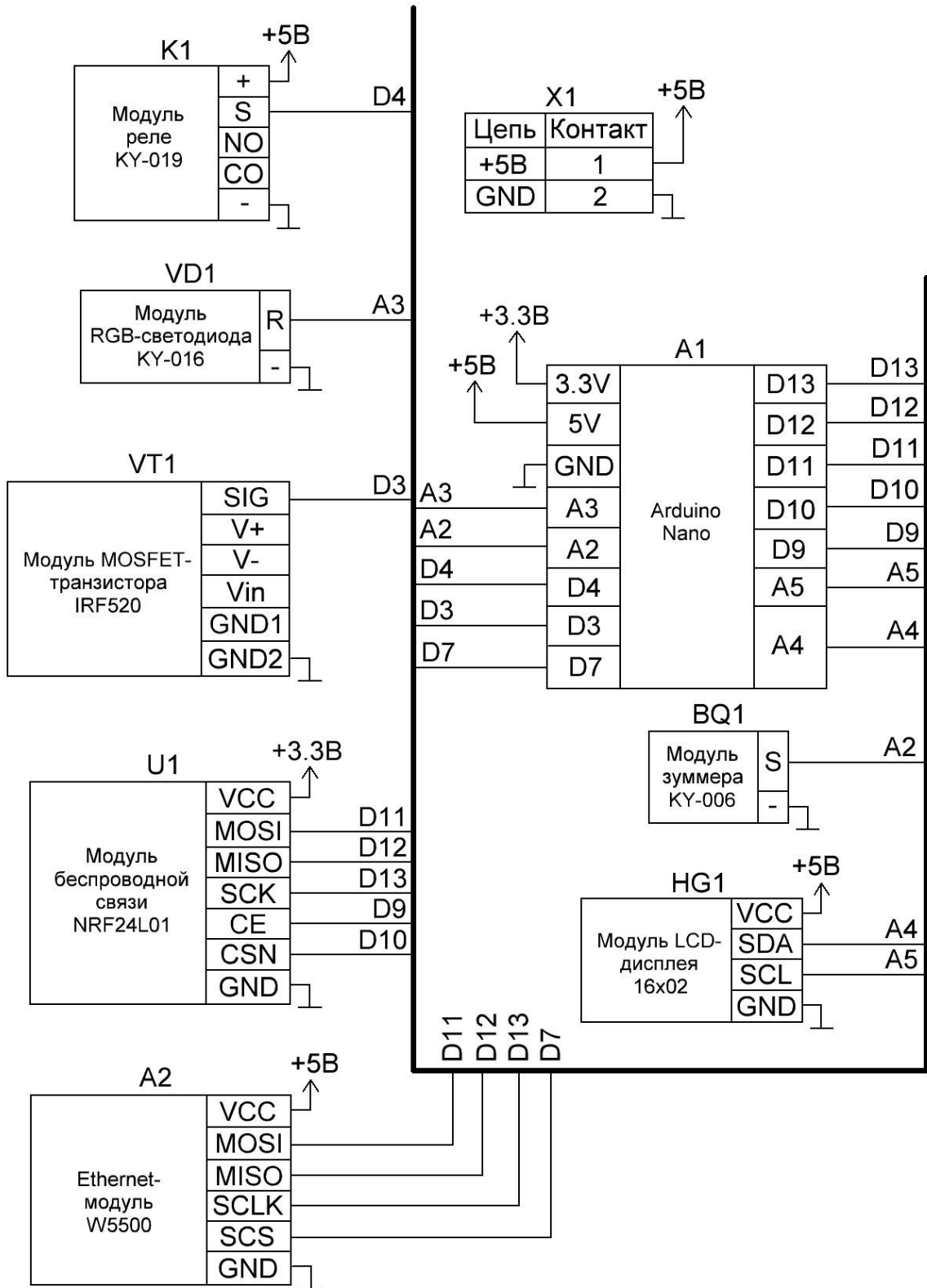


Рисунок 49 – Электрическая принципиальная схема системы-приемника.

При рисовании электрических принципиальных схем использовали шинный метод для облегчения их восприятия. Перечни элементов представлены в приложении Г и приложении Д.

2.8 Проработка структуры передаваемых данных

Система-передатчик отправляет системе-приемнику набор данных. В его состав входят:

– пятимерный массив «data[5]», состоящий из перемен типа byte (переменная «send_data.data[0]»; переменная «send_data.data[1]»; переменная «send_data.data[2]»; переменная «send_data.data[3]»; переменная «send_data.data[4]»);

– переменная «send_data.waterLiters» типа int;

– переменная «send_data.voltage» типа float.

Переменная «send_data.data[0]».

Тип переменной: byte.

Что записывается в эту переменную: влажность воздуха, измеренная датчиком DHT11.

Возможные значения переменной: в переменную типа byte может быть записано положительное число в диапазоне от 0 до 255.

Переменная «send_data.data[1]».

Тип переменной: byte.

Что записывается в эту переменную: температура воздуха, измеренная датчиком DHT11.

Возможные значения переменной: в переменную типа byte может быть записано положительное число в диапазоне от 0 до 255.

Переменная «send_data.data[2]».

Тип переменной: byte.

Что записывается в эту переменную: состояние датчика газа MQ-2.

Возможные значения переменной: если датчик обнаружил утечку газа, то «send_data.data[2]» = 0, если не обнаружил, то «send_data.data[2]» = 1.

Переменная «send_data.data[3]».

Тип переменной: byte.

Что записывается в эту переменную: состояние кнопки KY-004.

Возможные значения переменной: если кнопка нажата, то «send_data.data[3]» = 0, если не нажата, то «send_data.data[3]» = 1.

Переменная «send_data.data[4]».

Тип переменной: byte.

Что записывается в эту переменную: выходное напряжение потенциометра RV09, пропущенное через входной 10-битный АЦП Arduino Nano.

Возможные значения переменной: выходное напряжение потенциометра RV09, пропущенное через входной 10-битный АЦП Arduino Nano, преобразуется в диапазон целочисленных значений от 0 до 1023. Однако, так как ШИМ-сигнал, который должна генерировать плата Arduino системы-приемника для управления транзистором, может изменяться в диапазоне от 0 до 255, с помощью функции map() синтаксиса Arduino IDE пропорционально преобразовали этот диапазон от 0 до 1023 в диапазон от 0 до 255. Тогда возможные значения переменной «send_data.data[4]»: от 0 до 255.

Переменная «send_data.voltage».

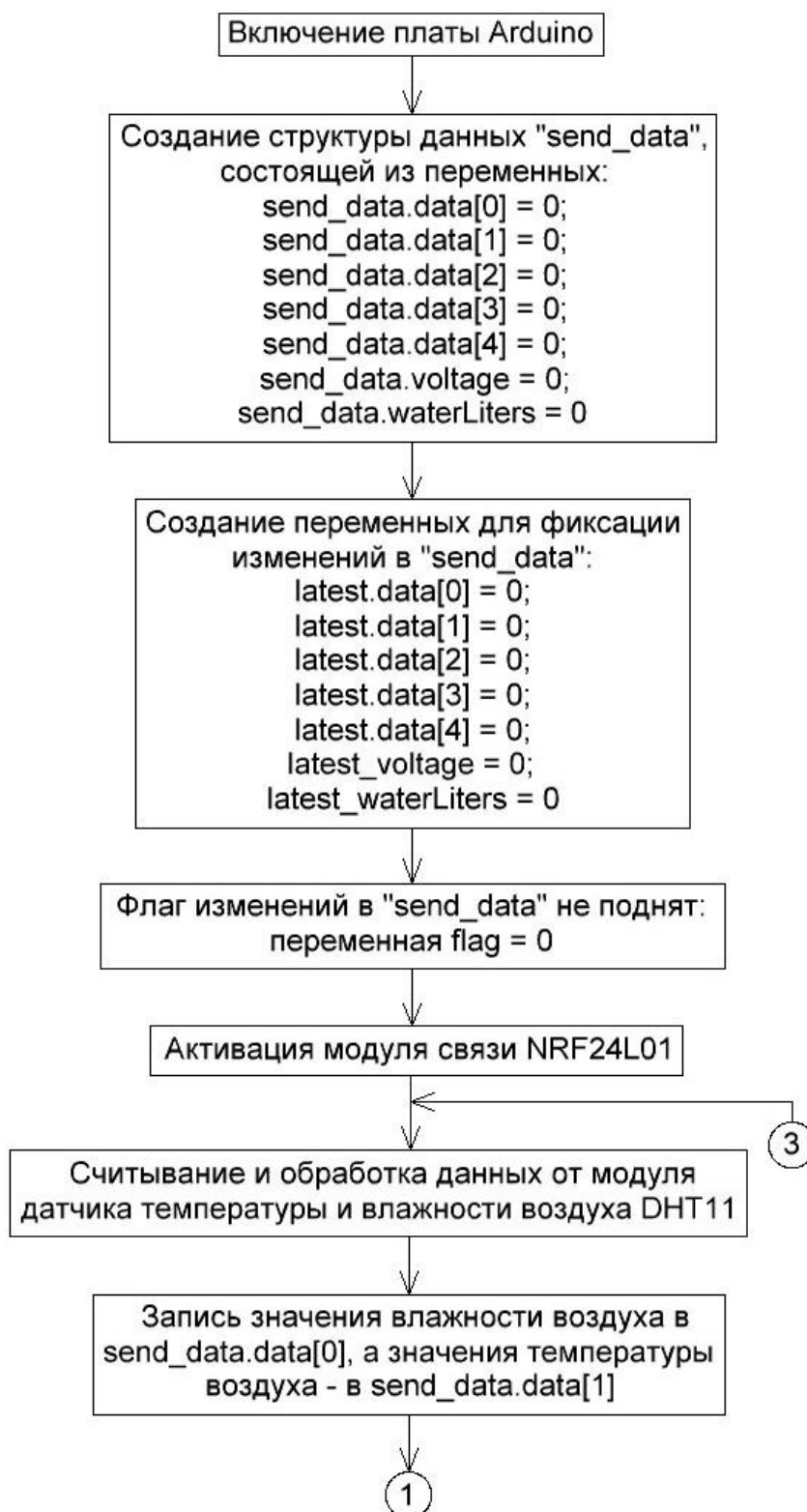
Тип переменной: float.

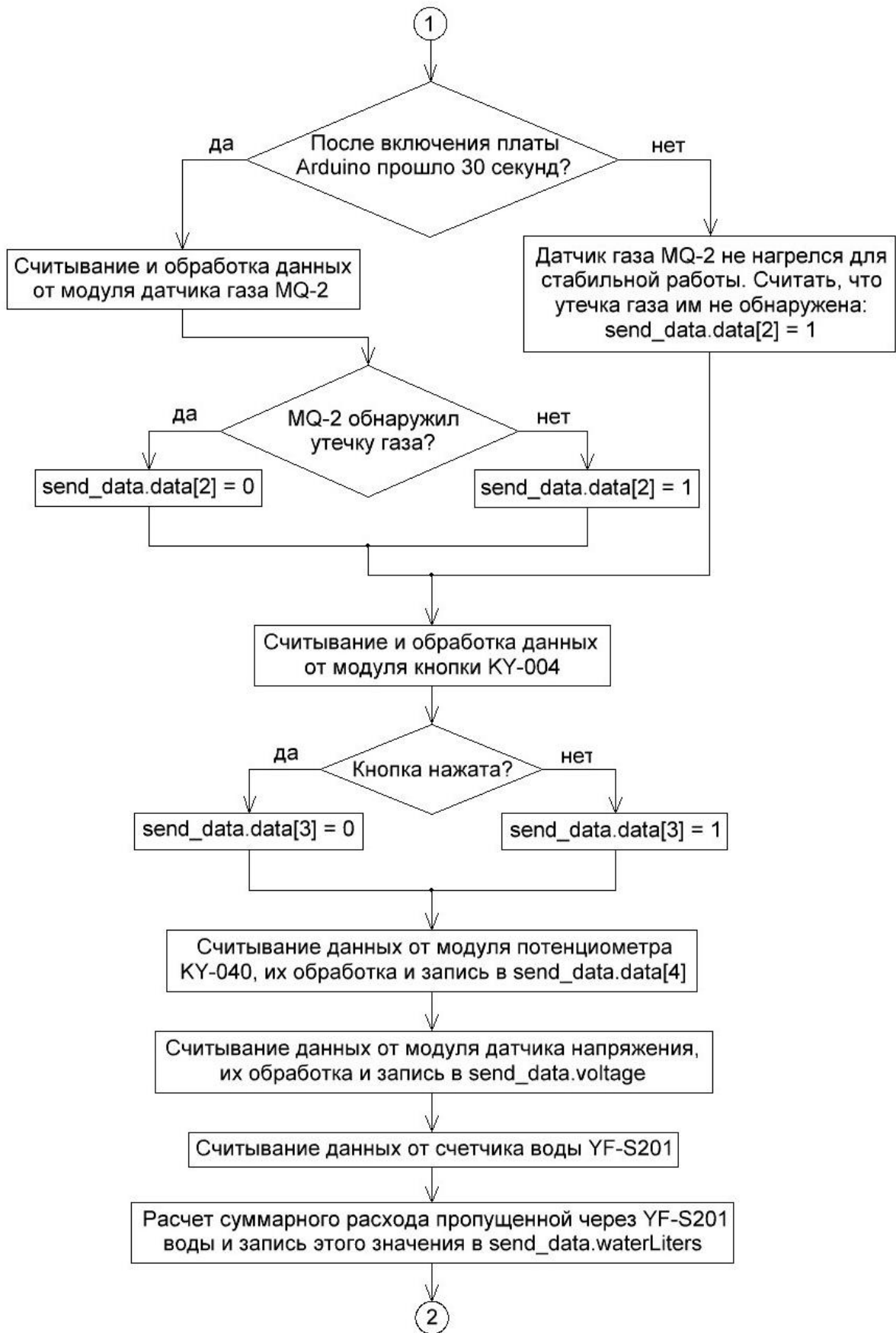
Что записывается в эту переменную: значение постоянного напряжения величиной до 25 В, измеренное датчиком напряжения.

Возможные значения переменной: в переменную типа float может быть записано число в диапазоне от $-3,4 \cdot 10^{28}$ до $3,4 \cdot 10^{28}$. Однако стоит отметить, что сам датчик способен измерять напряжение величиной только до 25 В.

2.9 Разработка блок-схем алгоритмов работы подсистем

Отобразили алгоритм работы системы-передатчика в виде блок-схемы (рисунок 50) и алгоритм работы системы-приемника также в виде блок-схемы (рисунок 51).





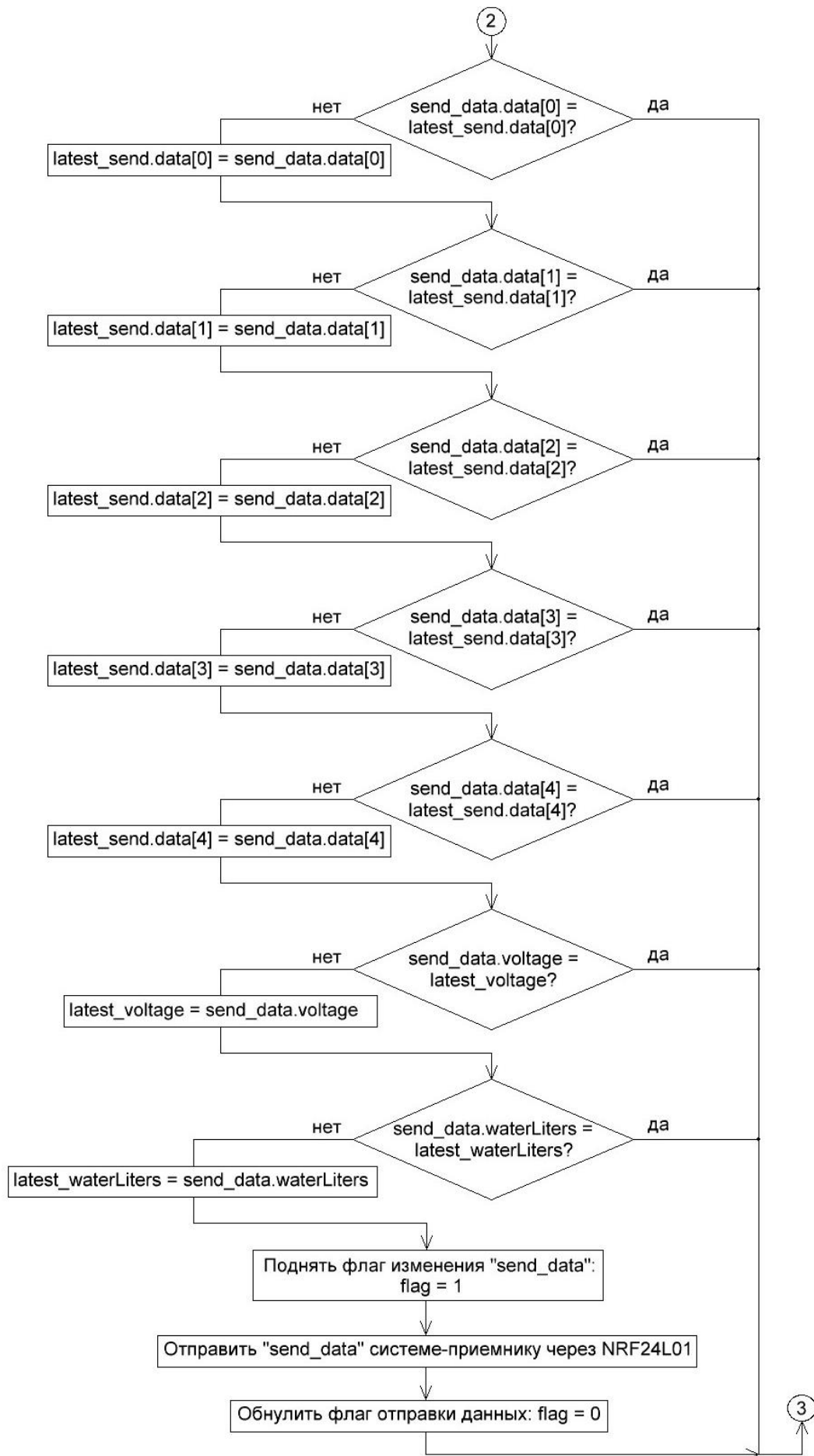
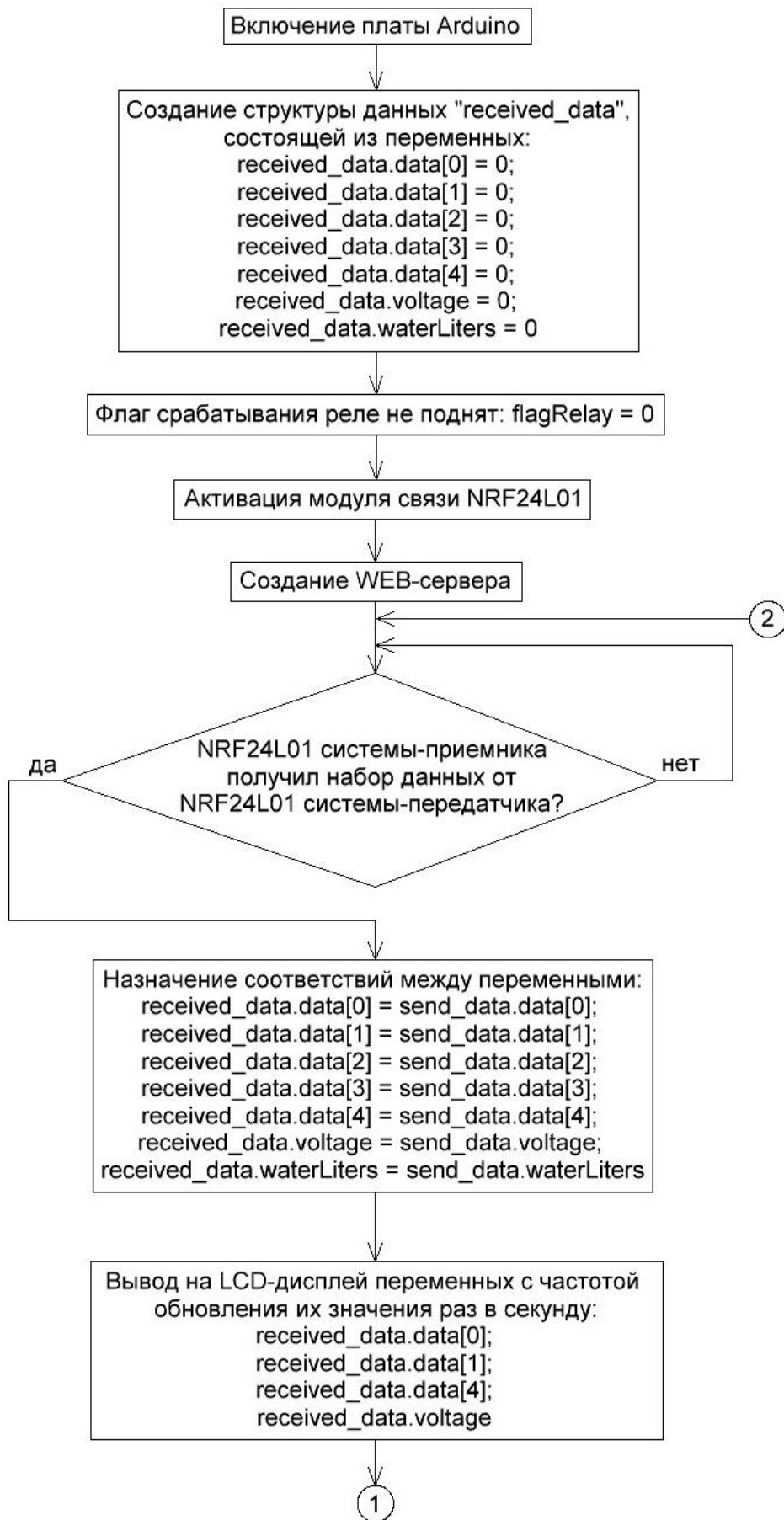


Рисунок 50 – Блок-схема алгоритма работы системы-передатчика.



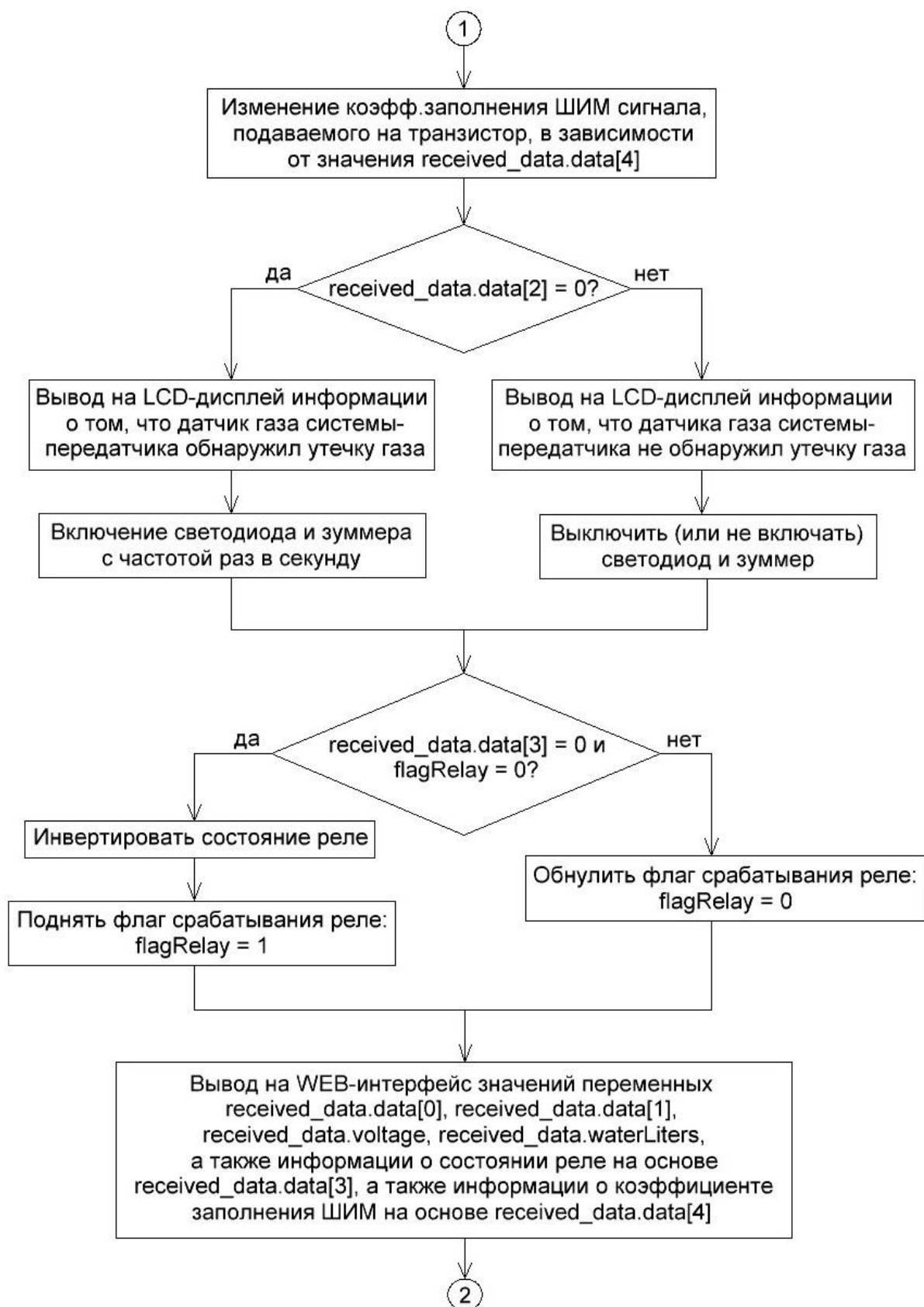


Рисунок 51 – Блок-схема алгоритма работы системы-приемника.

Таким образом, в данном пункте представлены блок-схемы алгоритмов работы системы-передатчика и системы-приемника. Программный код, загружаемый в плату Arduino Nano системы-передатчика, представлен в приложении А, а программный код, загружаемый в плату Arduino Nano системы-приемника, представлен в приложении Б.

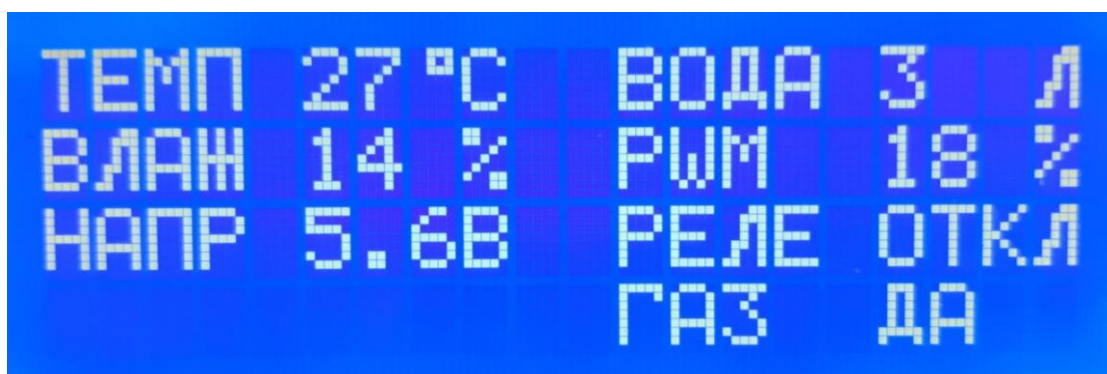
2.10 Проработка человеко-машинного интерфейса системы-приемника

На рисунке 52 показано, как будут отображаться дистанционно собранные системой данные на LCD-дисплее системы-приемника.

ТЕМП	—	°C	ВОДА	—	Л
ВЛАЖ	—	%	PWM	—	%
НАПР	—	V	РЕЛЕ	—	
			ГАЗ	—	

Рисунок 52 – Размещение информационных элементов на LCD-дисплее.

На рисунке 53 показан пример того, как выглядит LCD-дисплей при работе системы.



The image shows a blue LCD display with white text. The text is arranged in two columns. The left column contains: 'ТЕМП 27 °C', 'ВЛАЖ 14 %', and 'НАПР 5.6V'. The right column contains: 'ВОДА 3 Л', 'PWM 18 %', 'РЕЛЕ ОТКЛ', and 'ГАЗ ДА'.

ТЕМП	27 °C	ВОДА	3 Л
ВЛАЖ	14 %	PWM	18 %
НАПР	5.6V	РЕЛЕ	ОТКЛ
		ГАЗ	ДА

Рисунок 53 – Отображение данных на LCD-дисплее при работе системы.

В таблице 18 описаны поля LCD-дисплея.

Таблица 18 – Поля LCD-дисплея

Данные	Полное название	Возможные значения	Единицы измерения
ТЕМП	Температура воздуха	0-255	°С
ВОДА	Суммарный расход воды	0-32767	литры
ВЛАЖ	Влажность воздуха	0-255	%
НАПР	Напряжение	0-255	В
PWM	Заполнение ШИМ	0-100	%
РЕЛЕ	Состояние реле	«ВКЛ» – контакты реле замкнуты и напряжение подается на нагрузку; «ОТКЛ» – контакты реле разомкнуты и напряжение не подается на нагрузку	безразмерная величина
ГАЗ	Состояние датчика газа	«ДА» – датчик обнаружил утечку газа; «НЕТ» – датчик не обнаружил утечку газа	безразмерная величина

Используя программную библиотеку для работы с Ethernet-модулем для Arduino IDE, разработали WEB-интерфейс для отображения дистанционно собираемых системой данных. Данные, выводимые на этот интерфейс, дублируют данные, выводимые на LCD-дисплей. На рисунке 54 представлено окно WEB-браузера с разработанным WEB-интерфейсом.

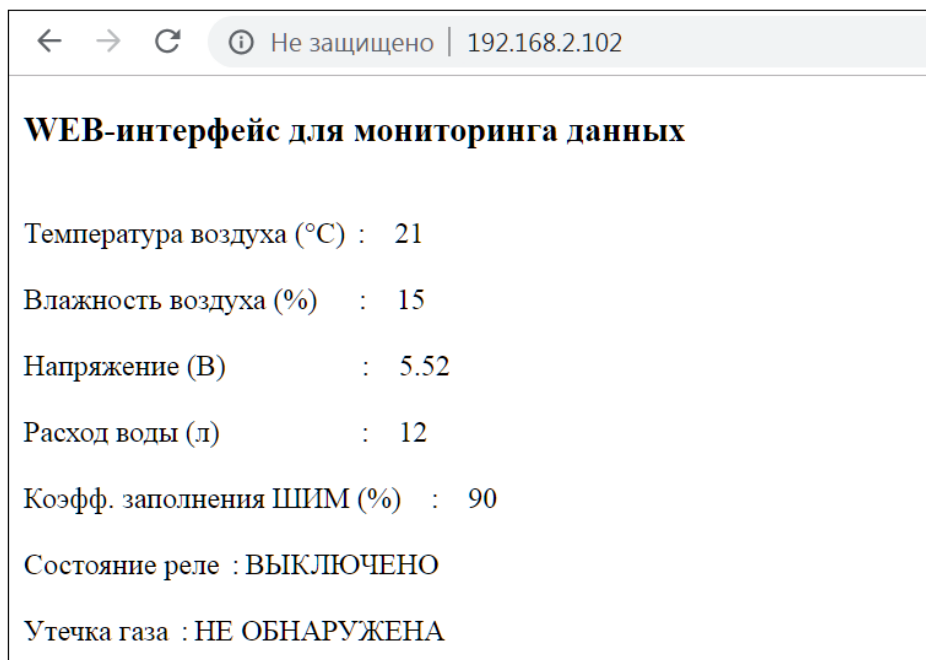


Рисунок 54 – Окно WEB-браузера с открытым WEB-интерфейсом.

Стоит отметить, что авторизация пользователя для просмотра WEB-интерфейса не требуется.

2.11 Сборка рабочего макета системы

Собрали рабочий макет спроектированной системы для проверки ее функциональности и работоспособности. В плату Arduino Nano системы-передатчика загрузили управляющую программу, представленную в приложении А, в плату Arduino Nano системы-приемника загрузили управляющую программу, представленную в приложении Б.

Добавили в систему-передатчик солнечную панель (выходное напряжение – до 5 В) в качестве источника постоянного напряжения, подаваемого на соответствующий датчик напряжения. Добавили в систему-приемник светодиодную ленту (длина ленты – 1 м) для наглядности изменения коэффициента заполнения ШИМ-сигнала, подаваемого на модуль транзистора. Также добавили маломощный вентилятор (работает при постоянном напряжении 12 В, токе 0,11 А) и подключили его к реле. При

замыкании контактов реле лопасти вентилятора начинают вращаться, при размыкании контактов реле – останавливаются.

Питание системы-приемника осуществляется от внешнего источника питания через стабилизатор напряжения на основе LM317T. Максимальное входное напряжение стабилизатора – 40 В, максимальное выходное напряжение – 37 В, минимальное выходное напряжение – 1,2 В, максимальный ток нагрузки – 1,5 А.

Фотографии рабочего макета представлены на рисунках 55 и 56.

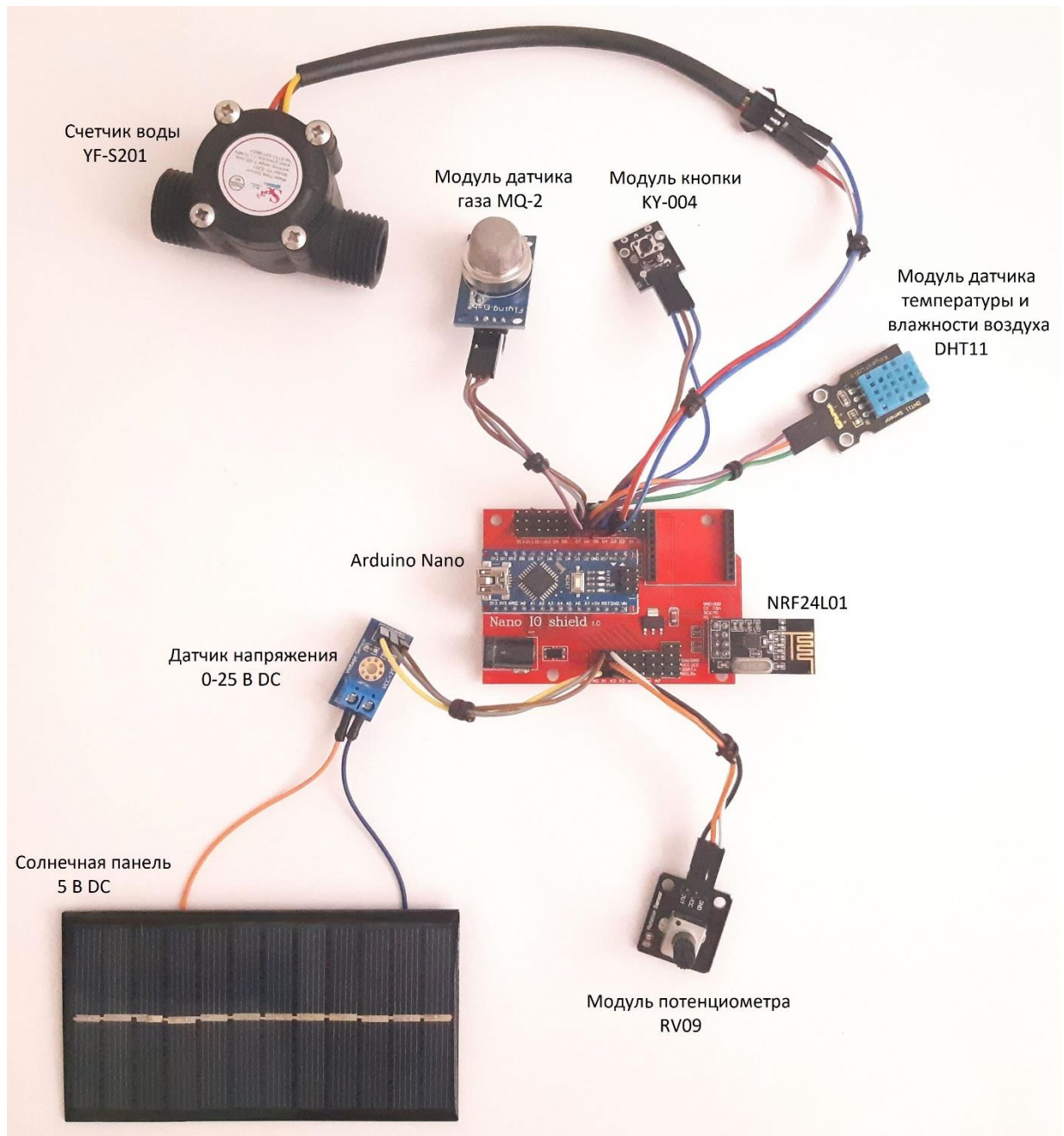


Рисунок 55 – Фотография рабочего макета системы-передатчика.

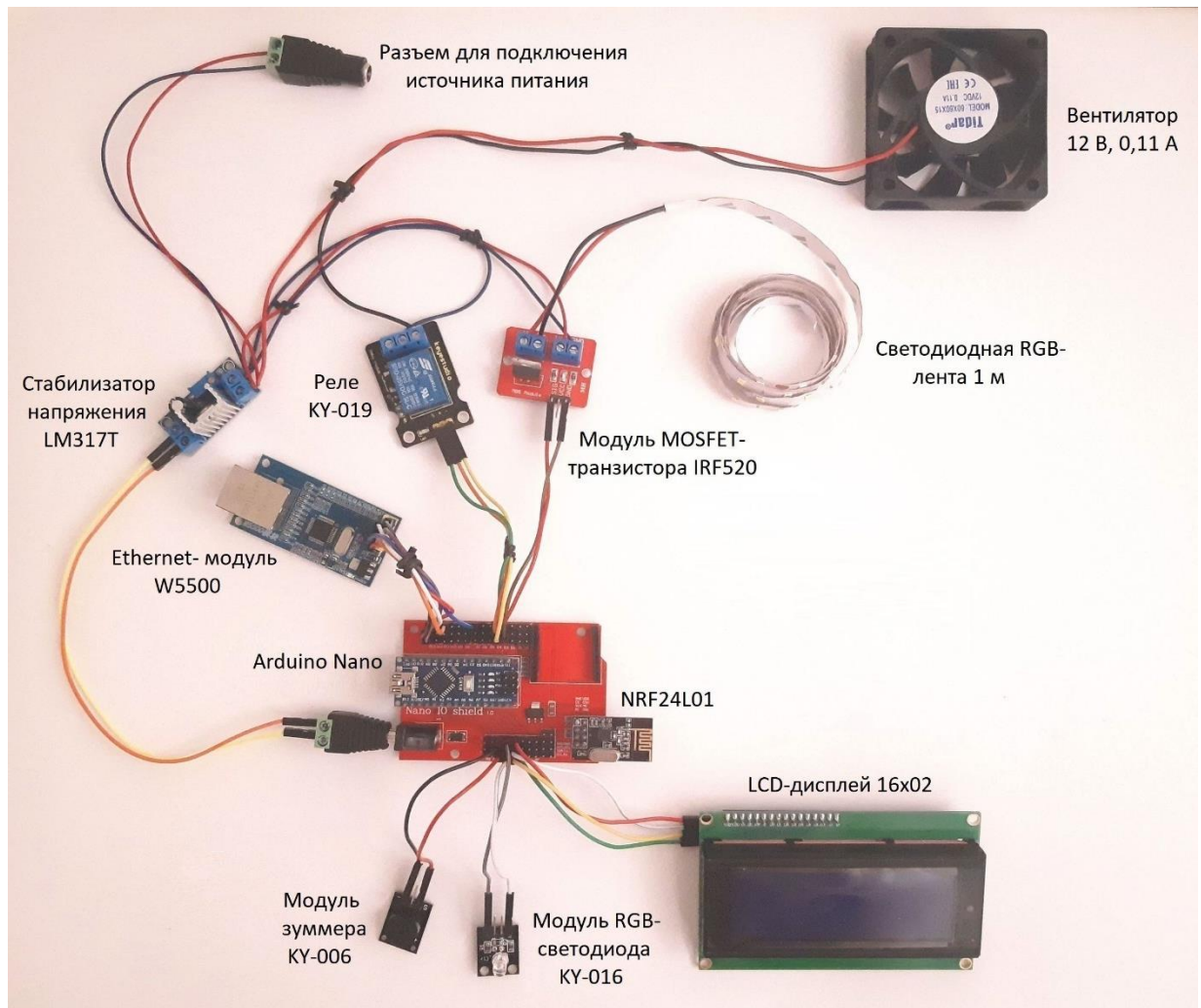


Рисунок 56 – Фотография рабочего макета системы-приемника.

Проверка макета проектируемой системы показала, что все функции, которые должны быть реализованы в ней, выполняются и система функционирует надлежащим образом.

2.12 Исследование системы

2.12.1 Измерение дальности действия системы

Исследовали дальность действия системы на открытом пространстве и в закрытом помещении. На открытом пространстве данные передаются по радиоканалу стабильно на расстоянии примерно до 80 м, в закрытом помещении – на расстоянии примерно до 20 м (при этом сигнал проходит

через одну бетонную стену толщиной примерно 16 см). Измеренные значения близки к заявленным производителем модулей NRF24L01.

2.12.2 Измерение токов подсистем

Используя цифровой мультиметр, измерили ток потребления системы-передатчика (плата Arduino и подключенные к ней модули). Он равен примерно 200 мА. Ток потребления системы-передатчика равен примерно 500 мА. Измеренные значения близки к рассчитанным ранее значениям.

2.13.3 Канал передачи данных

При тестировании макета системы было замечено, что на стабильность дистанционной передачи данных оказывают влияние находящиеся рядом Wi-Fi-устройства и Bluetooth-устройства. Это объясняется тем, что Wi-Fi и Bluetooth работают примерно в том же диапазоне частот, что и модули NRF24L01 (2,4 ГГц). Однако, как было сказано ранее, модули NRF24L01 могут использовать для обмена данными один из 125 доступных каналов связи, каждый из которых работает на своей частоте. Для того, чтобы данные передавались стабильно, нужно выбрать тот канал связи, на котором отсутствуют помехи. Для этого можно использовать управляющую программу (сканер частот), код которой представлен в приложении В. Загрузив ее в плату Arduino Nano, например, системы-передатчика, можно в среде Arduino IDE открыть монитор порта и посмотреть, какие именно каналы связи зашумлены и какие – нет. Нужно выбрать один из «чистых» каналов связи. Затем в управляющих программах, представленных в приложении А и приложении Б, необходимо указать номер данного канала связи.

2.13 Выводы по разделу

Определена архитектура проектируемой системы, состоящая из набора данных, системы-передатчика, системы-приемника, беспроводного канала связи, человеко-машинного интерфейса. Определены необходимые

функциональные элементы системы-передатчика: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, счетчик воды, датчик газа, датчик постоянного напряжения, датчик температуры и влажности воздуха, потенциометр, кнопка. Определены необходимые функциональные элементы системы-приемника: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, зуммер, реле, дисплей, светодиод, транзистор, Ethernet-модуль. Разработаны структурные схемы системы-передатчика и системы-приемника. Разработан алгоритм работы системы-передатчика и системы-приемника. Выбрано аппаратное обеспечение обеих подсистем, основанное на платформе Arduino (на платах Arduino Nano и совместимых с ними электронных модулях). Рассчитаны максимальные токи потребления системы-передатчика и системы-приемника. Разработаны электрические принципиальные схемы системы-передатчика и системы-приемника. Разработан человеко-машинный интерфейс, посредством которого дистанционно собираемые системой данные отображаются в удобном для человека графическом виде. Человеко-машинный интерфейс является частью системы-приемника, состоит из LCD-дисплея и WEB-интерфейса. Система-приемник, имея в своем составе Ethernet-модуль, выступает в качестве WEB-сервера, к которому можно подключиться с помощью устройства-клиента (смартфон, ноутбук, планшет, персональный компьютер и т.п.), и через установленный на этом устройстве WEB-браузер просмотреть WEB-интерфейс. Собран рабочий макет спроектированной системы. Проверка макета показала, что все функции, которые должны быть реализованы в системе, выполняются и система функционирует надлежащим образом. Исследована дальность действия спроектированной системы на открытом пространстве и в закрытом помещении. Измерены токи потребления системы-передатчика и системы-приемника.

Заключение

В рамках данной работы спроектирована система модульной конструкции удаленного сбора и обработки данных. Список функций, реализованных в системе:

- дистанционное измерение расхода воды,
- дистанционное измерение температуры и влажности воздуха,
- дистанционное измерение постоянного напряжения,
- дистанционное обнаружение утечки газа,
- дистанционное управление широтно-импульсной модуляцией,
- дистанционное управление реле.

В первом разделе рассмотрены общие принципы функционирования систем дистанционного сбора и обработки данных, рассмотрены некоторые виды таких систем, а также рассмотрены некоторые существующие решения, так или иначе выполняющие функции, которые должны быть реализованы в проектируемой системе согласно техническому заданию.

Во втором разделе определена архитектура проектируемой системы, состоящая из набора данных, системы-передатчика, системы-приемника, беспроводного канала связи, человеко-машинного интерфейса. Определены необходимые функциональные элементы системы-передатчика: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, счетчик воды, датчик газа, датчик постоянного напряжения, датчик температуры и влажности воздуха, потенциометр, кнопка. Определены необходимые функциональные элементы системы-приемника: микроконтроллер, модуль беспроводной связи, зуммер, реле, дисплей, светодиод, транзистор, Ethernet-модуль. Разработаны структурные схемы системы-передатчика и системы-приемника. Разработан алгоритм работы системы-передатчика и системы-приемника. Выбрано аппаратное обеспечение обеих подсистем, основанное на платформе Arduino (на платах Arduino Nano и совместимых с ними электронных модулях). Рассчитаны максимальные токи потребления системы-передатчика и

системы-приемника. Разработаны электрические принципиальные схемы системы-передатчика и системы-приемника. Разработан человеко-машинный интерфейс, посредством которого дистанционно собираемые системой данные отображаются в удобном для человека графическом виде. Человеко-машинный интерфейс является частью системы-приемника, состоит из LCD-дисплея и WEB-интерфейса. Система-приемник, имея в своем составе Ethernet-модуль, выступает в качестве WEB-сервера, к которому можно подключиться с помощью устройства-клиента (смартфон, ноутбук, планшет, персональный компьютер и т.п.), и через установленный на этом устройстве WEB-браузер просмотреть WEB-интерфейс. Собран рабочий макет спроектированной системы. Проверка макета показала, что все функции, которые должны быть реализованы в системе, выполняются и система функционирует надлежащим образом. Исследована дальность действия спроектированной системы на открытом пространстве и в закрытом помещении. Измерены токи потребления системы-передатчика и системы-приемника.

К основным техническим характеристикам спроектированной системы дистанционного сбора и обработки данных относятся: количество дистанционно считываемых переменных – 6, максимальная дальность передачи данных – до 80 м на открытом пространстве и до 20 м в закрытом помещении, примерная частота канала связи – 2,4 ГГц, скорость дистанционной передачи данных – 250 кбит/с.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Российские IT-решения для «умного» учета энергоресурсов [Электронный ресурс]. URL: <https://isup.ru/articles/2/5138/> (дата обращения: 15.06.2020).
2. «Интернет вещей» (IoT) в России [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pwc.ru/ru/publications/iot/iot-in-russia-research-rus.pdf> (дата обращения: 15.06.2020).
3. Шваб К. Технологии Четвертой промышленной революции. М.: Эксмо, 2018. 320 с.
4. The Secret to Formula 1's Success? Big Talent Meets Big Data [Электронный ресурс]. URL: <https://www.intel.co.uk/content/www/uk/en/it-management/cloud-analytic-hub/big-data-powers-f1.html> (дата обращения: 15.06.2020).
5. Счетчик воды Элегант [Электронный ресурс]. URL: https://elephant.ru/cntr_water.php (дата обращения: 15.06.2020).
6. GSM контроллер с датчиком температуры и влажности (5М) RTU5023+AM2305 [Электронный ресурс]. URL: <http://geomax-group.ru/gsm-kontroller-s-datchikom-temperatury-i-vlazhnosti--5m--rtu5023-am2305.html> (дата обращения: 15.06.2020).
7. SafeCurrent Battery Monitor [Электронный ресурс]. URL: <https://www.marlec.co.uk/product/safecurrent-battery-monitor/> (дата обращения: 15.06.2020).
8. ГОТОВЫЙ КОМПЛЕКТ GSM СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ УТЕЧКИ ГАЗА Страж Газ-Контроль MP01GSM-G [Электронный ресурс]. URL: <https://rusmarta.ru/market/sistemy-gaz-kontrol/gotovye-komplekty-gaz-kontrol/gsm-komplekty-gaz-kontrol/mp01gsm-g/> (дата обращения: 15.06.2020).
9. Контроллер ARL-4022-SIRIUS-RGB (12-24V, 3x2A, 2.4G) [Электронный ресурс]. URL: <https://arlight-russia.ru/arlight/8883/028922-kontroller-arl-4022-sirius-rgb-12-24v-3x2a-2-4g/> (дата обращения: 15.06.2020).

10. Контроллер SR-1009FA WiFi (12-36V, 240-720W) [Электронный ресурс]. URL: <https://arlight.ru/catalog/product/kontroller-sr-1009fa-wifi-12-36v-240-720w-014530/> (дата обращения: 15.06.2020).
11. GSM Реле [Электронный ресурс]. URL: <http://sonoff.ru/gsm-rele#p1> (дата обращения: 15.06.2020).
12. Kuganesan K, Moamin A.M. Monitoring and Controlling Tap Water Flow at Homes Using Android Mobile Application // American Journal of Software Engineering and Applications. 2017. 6 (6). PP. 128–136.
13. Emmanuel G.D., Stephen B.J., Digima M., Birma. I.H. Microcontroller Based Remote Weather Monitoring System // Journal of Scientific and Engineering Research. 2018. 5 (4). PP. 276–287.
14. Mali T.D., Shinde N.M., Desai S.M, Gaikwad S.A. Bluetooth Based Automation and Security System // International Journal for Scientific Research & Development. 2015. Vol. 3. № 1. PP. 1097–1100.
15. Ishak A.J., Sarmad N.M., Abadal T.H. GSM Based Gas Leak Monitoring System // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. 2019. Vol. 7. № 2. PP. 670–678.
16. HTML [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/HTML> (дата обращения: 15.06.2020).
17. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino: Пер. с нем. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ВХБ-Петербург, 2017. 256 с.
18. Монк С. Програмируем Arduino: Основы работы со скетчами. СПб.: Питер, 2016. 176 с.
19. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ВХБ-Петербург, 2015. 464 с.
20. Подключение модулей связи 2,4ГГц на базе чипов nRF24L01+ к микроконтроллеру [Электронный ресурс]. URL: https://aterlux.ru/article/nrf24l01p#_h3_32 (дата обращения: 15.06.2020).

21. Текстовый экран 20x4/I2C [Электронный ресурс]. URL: <http://wiki.amperka.ru/products:display-lcd-text-20x4-i2c> (дата обращения: 15.06.2020).

22. Basics of Interfacing DHT11/DHT22 Humidity and Temperature Sensor with MCU [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ocfreaks.com/basics-interfacing-dht11-dht22-humidity-temperature-sensor-mcu/> (дата обращения: 15.06.2020).

23. Цифровой датчик температуры и влажности воздуха (Тройка-модуль) [Электронный ресурс]. URL: <https://amperka.ru/product/troyka-temperature-humidity-sensor-dht11> (дата обращения: 15.06.2020).

24. Реле 250V 10A, SRD-05VDC-SL-C для Arduino [Электронный ресурс]. URL: <https://iarduino.ru/shop/Expansion-payments/rele-250v-10a-srd-05vdc-sl-c.html> (дата обращения: 15.06.2020).

25. Модуль MOSFET транзистора IRF520 (силовой ключ) [Электронный ресурс]. URL: <https://arduinopro.ru/product/irf520-module/> (дата обращения: 15.06.2020).

26. Модуль тактовой кнопки [Электронный ресурс]. URL: <https://arduino-kit.ru/product/modul-taktovoy-knopki> (дата обращения: 15.06.2020).

27. Модуль пьезоизлучателя KY-006 [Электронный ресурс]. URL: http://www.zi-zi.ru/docs/modules/info_KY-006.pdf (дата обращения: 15.06.2020).

28. Как работает датчик газа/дыма MQ-2? И его взаимодействие с Arduino [Электронный ресурс] URL: <https://radioprogram.ru/post/737> (дата обращения: 15.06.2020).

29. Датчик расхода воды YF-S201 (1-30 л/мин) [Электронный ресурс] URL: <https://roboshop.spb.ru/YF-S201> (дата обращения: 15.06.2020).

30. W5500 [Электронный ресурс] URL: <https://www.wiznet.io/product-item/w5500/> (дата обращения: 15.06.2020).

Приложение А

Программный код для Arduino Nano системы-передатчика

```
//Подключение программных библиотек
#include <iarduino_DHT.h> //DHT11
#include "nRF24L01.h" //NRF24L01
#include "RF24.h" //NRF24L01
#include <SPI.h> //SPI-шина (NRF24L01)
//Выходы платы Arduino, к которым подключены модули
#define voltageSensor A0 //Датчик напряжения
#define waterFlowSensor 3 //Расходомер воды
#define alarmSensor 7 //Датчик утечки газа
#define potentiometr A1 //Потенциометр
#define button 5 //Кнопка для управления реле
iarduino_DHT sensor(6); //DHT11
//Активация NRF24L01
RF24 radio(9, 10); //Выходы платы Arduino для подключения CE и CSN NRF24L01
byte address[][6] = {"1Node", "2Node", "3Node", "4Node", "5Node", "6Node"}; //Возможные
каналы передачи данных по NRF24L01
//Структура передаваемых данных
struct struct_data {
byte data[5]; //Массив типа byte
int waterLiters; //Переменная типа int для счетчика воды
float voltage; }; //Переменная типа float для датчика напряжения
struct_data send_data;
byte latest_data[5]; //Массив типа byte для проверки массива из структуры на изменения
int latest_waterLiters; //Переменная для счетчика воды для проверки изменений его данных
float latest_voltage; //Переменная для датчика напряжения для проверки изменений его
данных
bool flag = 0; //Флаг для фиксации изменения передаваемых данных
//Номиналы резисторов датчика напряжения и расчет его входного напряжения
const float R1 = 30000;
const float R2 = 7500;
float Uin = 5*((R1+R2)/R2);
//Переменные для расходомера воды
```

Продолжение Приложения А

```
volatile uint16_t pulses = 0;           //Количество импульсов от расходомера воды
volatile uint8_t lastflowpinstate;     //Отслеживание состояния расходомера воды
volatile uint32_t lastflowratetimer = 0; //Отслеживание времени между импульсами
volatile float flowrate;               //Скорость потока воды
int water;                             //Расход воды в литрах
//Отслеживание импульсов от счетчика воды на выводе платы Arduino
SIGNAL(TIMER0_COMPA_vect) {
uint8_t x = digitalRead(waterFlowSensor);
if (x == lastflowpinstate) {         //Если состояние вывода платы Arduino прежнее
lastflowratetimer++;                //Расход воды отсутствует
return; }
if (x == HIGH) {                    //Если импульс есть, то увеличить счетчик импульсов
pulses++; }
lastflowpinstate = x;
flowrate = 1000.0;                  //Подсчет скорости потока воды
flowrate /= lastflowratetimer;
lastflowratetimer = 0; }
//Прерывание по импульсу от расходомера воды
void useInterrupt(boolean v) {
if (v) {
OCR0A = 0xAF; //Регистр совпадения
TIMSK0 |= _BV(OCIE0A); }           //Разрешить прерывание по совпадению
else {
TIMSK0 &= ~_BV(OCIE0A); } }       //Не вызывать прерывание

void setup() {
Serial.begin(9600);                 //Скорость передачи данных по COM-порту
delay(2000);                         //Рекомендуемая задержка перед включением NRF24L01
//Настройка NRF24L01
radio.begin();                       //Активация модуля NRF24L01
radio.setAutoAck(1);                 //Режим подтверждения приема: 1 - вкл, 0 - выкл
radio.setRetries(0,15);              //Время между попытками отправки данных, число попыток
radio.enableAckPayload();            //Разрешить отсылку данных в ответ на входящий сигнал
```

Продолжение Приложения А

```
radio.setPayloadSize(32); //Размер пакета в байтах
radio.openWritingPipe(address[0]); //Используется труба 0, открытие канала для передачи
данных
radio.setChannel(0x70); //Выбор канала для передачи данных
radio.setPALevel(RF24_PA_MAX); //Уровень мощности передатчика (RF24_PA_MIN,
RF24_PA_LOW, RF24_PA_HIGH, RF24_PA_MAX)
radio.setDataRate(RF24_250KBPS); //Скорость обмена данными (RF24_2MBPS,
RF24_1MBPS, RF24_250KBPS)
radio.powerUp(); //Начать работу
radio.stopListening(); //Не слушать радиоэфир (так как это система-передатчик)
//Конфигурация выводов Arduino
pinMode(alarmSensor, INPUT);
pinMode(waterFlowSensor, INPUT);
digitalWrite(waterFlowSensor, HIGH);
pinMode(potenciometr, INPUT);
//Переменные для расходомера воды
lastflowpinstate = digitalRead(waterFlowSensor);
useInterrupt(true); }

void loop() {
sensor.read(); //Считывание данных от DHT11
//Заполнение структуры данных
send_data.data[0] = sensor.hum; //Данные о влажности от DHT11
send_data.data[1] = sensor.tem; //Данные о температуре от DHT11
if (millis() > 30000) { //Считывать сигнал от датчика газа после 30 секунд с момента
включения Arduino (время прогрева датчика)
send_data.data[2] = digitalRead(alarmSensor); } //До истечения этого времени считать, что
датчик газа не сработал, то есть не обнаружил утечку газа
else { send_data.data[2] = 1; }
send_data.data[3] = digitalRead(button); //Положение кнопки для управление реле
send_data.data[4] = map(analogRead(potenciometr), 0, 1023, 0, 255); //Сигнал от
потенциометра, для удобства преобразованный в диапазон от 0 до 255
```


Продолжение Приложения А

```
send_data.voltage = (analogRead(voltageSensor)*Uin)/1023.00; //Данные от датчика
напряжения
if (pulses > 0) {
send_data.waterLiters = pulses/500; } //Расход воды в литрах
//Если данные от датчика напряжения или счетчика воды изменились
if (send_data.voltage != latest_voltage || send_data.waterLiters != latest_waterLiters) {
flag = 1; //Поднять флаг изменения передаваемых данных
latest_voltage = send_data.voltage;
latest_waterLiters = send_data.waterLiters; }
for (int i = 0; i < 5; i++) { //Перебрать массив передаваемых данных
if (send_data.data[i] != latest_data[i]) { //Если данные в массиве изменились
flag = 1; //Поднять флаг изменения передаваемых данных
latest_data[i] = send_data.data[i]; } } //Обновить передаваемые данные
if (flag == 1) { //Если поднят флаг изменения передаваемых данных
flag = 0; //Опустить флаг
radio.write(&send_data, sizeof(send_data)); } } //Отправить структуру данных системе-
приемнику
```

Приложение Б

Программный код для Arduino Nano системы-приемника

```
//Подключение программных библиотек
#include <SPI.h>           //SPI-интерфейс
#include <Ethernet2.h>     //Ethernet-модуль W5500
#include <Wire.h>         //LCD-дисплей
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //LCD-дисплей
#include "nRF24L01.h"     //NRF24L01
#include "RF24.h"         //NRF24L01

//Выводы Arduino, к которым подключены
#define PWM 3            //Модуль транзистора
#define buzzer A2       //Зуммер
#define led A3          //LED (светодиод)
#define relay 4         //Реле

//Структура получаемых данных
struct struct_data {
byte data[5];           //Массив данных типа byte
int waterLiters;       //Переменная типа int для счетчика воды
float voltage; };      //Переменная типа float для датчика напряжения}
struct_data received_data;

RF24 radio(9, 10);     //Выводы Arduino для выводов CE и CSN модуля NRF24L01
byte address[][6] = {"1Node", "2Node", "3Node", "4Node", "5Node", "6Node"}; //Возможные
каналы передачи данных по NRF24L01

//Активация LCD-дисплея и создание символов для него
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
uint8_t Temp[8] = {0b00111,0b00101,0b00111,0b00000,0b00000,0b00000,0b00000,0b00000};
//Знак градуса
uint8_t bukva_P[8] = {0x1F,0x11,0x11,0x11,0x11,0x11,0x11};           //"П"
uint8_t bukva_L[8] = {0x3,0x7,0x5,0x5,0xD,0x9,0x19};                 //"Л"
uint8_t bukva_ZH[8] = {B10101,B10101,B10101,B11111,B10101,B10101,B10101}; //"Ж"
uint8_t bukva_G[8] = {B11111,B10001,B10000,B10000,B10000,B10000,B10000,B00000};
//"Г"
uint8_t bukva_D[8] = {B01110,B01010,B01010,B01010,B01010,B11111,0x11}; //"Д"
```

Продолжение Приложения Б

```
//WEB-интерфейс
byte mac[] = {0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED}; //MAC-адрес сети
IPAddress ip(192, 168, 2, 102); //IP-адрес Ethernet-модуля W5500
EthernetServer server(80); //Порт 80
unsigned long secTime; //Работа сигнализации с периодическим включением и
отключением светодиода и зуммера при срабатывании датчика газа
bool flagRelay = true; //Флаг срабатывания реле
//Переменные для вывода данных на LCD-дисплей с паузой (для плавности изменения
данных на дисплее)
unsigned long currentTime;
unsigned long loopTime;

void setup() {
Serial.begin(9600); //Скорость передачи данных по COM-порту
delay(2000); //Рекомендуемая задержка перед включением NRF24L01
//WEB-сервер
Ethernet.init(7); //Вывод CS модуля W5500 для подключения к плате Arduino по SPI
Ethernet.begin(mac, ip); //Инициализация модуля
server.begin(); //Создание WEB-сервера
//Настройка NRF24L01
radio.begin(); //Активация модуля NRF24L01
radio.setAutoAck(1); //Режим подтверждения приёма: 1 - вкл, 0 - выкл
radio.setRetries(0,15); //Время между попытками отправки данных, число попыток
radio.enableAckPayload(); //Разрешить отсылку данных в ответ на входящий сигнал
radio.setPayloadSize(32); //Размер пакета в байтах
radio.openReadingPipe(1,address[0]); //Используется труба 0, открытие канала для
получения данных
radio.setChannel(0x70); //Выбор канала
radio.setPALevel(RF24_PA_MAX); //Уровень мощности приемника (RF24_PA_MIN,
RF24_PA_LOW, RF24_PA_HIGH, RF24_PA_MAX)
radio.setDataRate(RF24_250KBPS); //Скорость обмена (На выбор RF24_2MBPS,
RF24_1MBPS, RF24_250KBPS)
radio.powerUp(); //Начать работу
```

Продолжение Приложения Б

```
radio.startListening();      //Слушать радиоэфир
//Активация LCD-дисплея и включение его подсветки
lcd.init();
lcd.backlight();
//Создание символов для LCD-дисплея
lcd.createChar(1, буква_P);
lcd.createChar(2, буква_L);
lcd.createChar(3, буква_ZH);
lcd.createChar(4, буква_G);
lcd.createChar(5, буква_D);
lcd.createChar(6, Temp);
//Режим работы выводов платы Arduino
pinMode(PWM, OUTPUT);      //Вывод для управления транзистором - выход
pinMode(buzzer, OUTPUT);  //Вывод для управления зуммером - выход
digitalWrite(buzzer, LOW); //После включения платы Arduino зуммер выключен
pinMode(led, OUTPUT);     //Вывод для управления LED - выход
digitalWrite(led, LOW);   //После включения платы Arduino LED выключен
pinMode(button, INPUT);   //Вывод для кнопки - вход
pinMode(relay, OUTPUT);   //Вывод для управления реле - выход
digitalWrite(relay, LOW); //После включения платы Arduino реле выключено
pinMode(10, OUTPUT);     //Вывод CS модуля NRF24L01 - выход
pinMode(7, OUTPUT);      //Вывод CS модуля W5500 - выход
digitalWrite(10, HIGH);   //После включения платы Arduino не происходит
обращение к NRF24L01 по SPI
digitalWrite(7, HIGH);    //После включения платы Arduino не происходит
обращение к W5500 по SPI
//Переменные для вывода данных на LCD-дисплей с паузой
currentTime = millis();
loopTime = currentTime;
}
```

Продолжение Приложения Б

```
void loop() {
digitalWrite(10, LOW); //После включения платы Arduino обратиться к NRF24L01 по SPI
digitalWrite(7, HIGH); //После включения платы Arduino не обращаться к W5500 по SPI
byte pipeNo;
if(radio.available(&pipeNo)) { //Если NRF24L01 принял данные по какой-либо трубе
radio.read(&received_data, sizeof(received_data)); } //Чтение данных
//Вывод значения расхода воды на LCD-дисплей
lcd.setCursor(11, 0);
lcd.print("BO\5A");
if (received_data.waterLiters < 10) {
lcd.setCursor(16, 0);
lcd.print(received_data.waterLiters);
lcd.setCursor(17, 0);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(18, 0);
lcd.print(" "); }
if (received_data.waterLiters < 100) {
lcd.setCursor(16, 0);
lcd.print(received_data.waterLiters);
lcd.setCursor(18, 0);
lcd.print(" "); }
if (received_data.waterLiters > 99) {
lcd.setCursor(16, 0);
lcd.print(received_data.waterLiters); }
lcd.setCursor(19, 0);
lcd.print("\2");
currentTime = millis();
if (currentTime - loopTime >= 1000) {
//Вывод значения температуры воздуха на LCD-дисплей
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("TEM\1");
lcd.setCursor(5,0);
lcd.print(received_data.data[1]);
```

Продолжение Приложения Б

```
lcd.setCursor(7,0);
lcd.print("\6C");
//Вывод значения влажности воздуха на LCD-дисплей
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("B\2A\3");
lcd.setCursor(5,1);
lcd.print(received_data.data[0]);
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print("%");
//Вывод данных от датчика напряжения на LCD-дисплей
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("HA\1P");
lcd.setCursor(5,2);
lcd.print(received_data.voltage,1);
if (received_data.voltage < 10) {
lcd.setCursor(8,2);
lcd.print("B");
lcd.setCursor(9,2);
lcd.print(" "); }
if (received_data.voltage > 9) {
lcd.setCursor(9,2);
lcd.print("B"); }
loopTime = currentTime; }
//Вывод значения коэфф. заполнения ШИМ сигнала на LCD-дисплей
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("PWM");
int PWMvalue = map(received_data.data[4], 0, 255, 0, 100);
if (PWMvalue < 10) {
lcd.setCursor(16, 1);
lcd.print(PWMvalue);
lcd.setCursor(17, 1);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(18, 1);
```

Продолжение Приложения Б

```
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(19, 1);
lcd.print("%"); }
if (PWMvalue < 100) {
lcd.setCursor(16, 1);
lcd.print(PWMvalue);
lcd.setCursor(18, 1);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(19, 1);
lcd.print("%"); }
if (PWMvalue == 100) {
lcd.setCursor(16, 1);
lcd.print(PWMvalue);
lcd.setCursor(19, 1);
lcd.print("%"); }
//Управление ШИМ
analogWrite(PWM, received_data.data[4]);      //ШИМ сигнал на транзистор
//Сигнализация
if (received_data.data[2] == 1) {             //Если датчик газа не сработал
lcd.setCursor(11, 3);
lcd.print("\4A3");
lcd.setCursor(16, 3);
lcd.print("НЕТ");
noTone(buzzer);                               //Выключить зуммер
digitalWrite(led, LOW); }                     //Выключить светодиод
if (received_data.data[2] == 0) {             //Если датчик газа сработал
lcd.setCursor(11, 3);
lcd.print("\4A3");
lcd.setCursor(16, 3);
lcd.print("\5A");
lcd.setCursor(18, 3);
lcd.print(" ");
if (millis() - secTime > 1000) {             //Включить сигнализацию с частотой 1 раз в секунду
```

Продолжение Приложения Б

```
tone(buzzer, 500, 150);           //Включить зуммер
digitalWrite(led, !digitalRead(led)); //Включить светодиод
secTime = millis(); } }
//Управление реле
if (received_data.data[3] == 0 && flagRelay == true) { //Если кнопка управления реле
нажата
digitalWrite(relay, !digitalRead(relay)); //Изменить состояние реле
flagRelay = false; } //Выставить флаг срабатывания реле
if (digitalRead(relay) == HIGH) { //Если реле включено
lcd.setCursor(19,2); //Вывод надписи "Реле включено"
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(11,2);
lcd.print("PE\2E BK\2"); }
if (received_data.data[3] == 1 && flagRelay == false) { //Обнулить флаг срабатывания реле
flagRelay = true; }
if (digitalRead(relay) == LOW) { //Если реле отключено
lcd.setCursor(11,2); //Вывод надписи "Реле отключено"
lcd.print("PE\2E ОТК\2"); }
digitalWrite(10, HIGH); //Не обращаться к NRF24L01 по SPI
digitalWrite(7, LOW); //Обратиться к W5500 по SPI
EthernetClient client = server.available(); //Если клиент подключен к серверу
if (client) {
Serial.println("new client");
boolean currentLineIsBlank = true;
while (client.connected()) {
if (client.available()) {
char c = client.read();
Serial.write(c);
if (c == '\n' && currentLineIsBlank) {
client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-Type: text/html; charset=utf-8");
client.println("Connection: close");
client.println("Refresh: 3");
```


Продолжение Приложения Б

```
client.println();
client.println("<!DOCTYPE HTML>");
client.println("<html>");
client.println("<h3>WEB-интерфейс для мониторинга данных</h3>");
client.println("<br />");
client.print("Температура воздуха (°C)&#8201;&#8201;:&#8195;");
client.print(received_data.data[1]);
client.println("<br />");
client.println("<br />");
client.print("Влажность воздуха (%)&#8195;&#8201;&#8201;:&#8195;");
client.print(received_data.data[0]);
client.println("<br />");
client.println("<br />");
client.print("Напряжение
(B)&#8195;&#8195;&#8201;&#8201;&#8194;&#8195&#8201;&#8194;:&#8195;");
client.print(received_data.voltage);
client.println("<br />");
client.println("<br />");
client.print("Расход воды
(л)&#8195;&#8201;&#8201;&#8201;&#8195;&#8195;&#8201;&#8195;:&#8195;");
client.print(received_data.waterLiters);
client.println("<br />");
client.println("<br />");
client.print("Коэфф. заполнения ШИМ (%)&#8195;:&#8195;");
client.print(PWMvalue);
client.println("<br />");
client.println("<br />");
client.print("Состояние реле&#8201;&#8201;:&#8201;");
if (digitalRead(relay) == HIGH) {
client.println("ВКЛЮЧЕНО"); }
else {
client.println("ВЫКЛЮЧЕНО"); }
client.println("<br />");
```

Продолжение Приложения Б

```
client.println("<br />");
client.print("Утечка газа&#8201;&#8201;:&#8201;");
if (received_data.data[2] == 0) {
client.print("ОБНАРУЖЕНА"); }
else {
client.print("НЕ ОБНАРУЖЕНА"); }
client.println("<br />");
client.println("<br />");
client.println("</html>");
break; }
if (c == '\n') {
currentLineIsBlank = true; }
else if (c != '\r') {
currentLineIsBlank = false; } } }
delay(1);
client.stop(); } }
```

Приложение В

Сканер частот

```
#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
RF24 radio(9,10);
const uint8_t num_channels = 128;
uint8_t values[num_channels];

void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  printf_begin();
  radio.begin();
  radio.setAutoAck(false);
  radio.startListening();
  radio.printDetails();
  delay(5000);
  radio.stopListening();
  int i = 0; //
  while ( i < num_channels ) {
    printf("%x",i>>4);
    ++i; }
  printf("\n\r");
  i = 0;
  while ( i < num_channels ) {
    printf("%x",i&0xf);
    ++i; }
  printf("\n\r"); }
const int num_reps = 100;

void loop(void) {
  memset(values,0,sizeof(values));
  int rep_counter = num_reps;
  while (rep_counter--)
```

Продолжение Приложения В

```
int i = num_channels;
while (i--) {
radio.setChannel(i);
radio.startListening();
delayMicroseconds(128);
radio.stopListening();
if ( radio.testCarrier() )
++values[i]; } }
int i = 0;
while ( i < num_channels ) {
printf("%x",min(0xf,values[i]&0xf));
++i; }
printf("\n\r"); }
int serial_putc( char c, FILE * ) {
Serial.write( c );
return c; }
void printf_begin(void) {
fdevopen( &serial_putc, 0 ); }
```

Приложение Г

Перечень элементов электрической принципиальной схемы системы- передатчика

	Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание					
Перв. примен.		<i>Устройства</i>							
	A1	Плата Arduino Nano	1						
		<i>Датчики</i>							
Справ. №	B1	Модуль датчика температуры и влажности воздуха DHT11	1						
	B2	Модуль датчика газа MQ-2	1						
	B3	Модуль датчика постоянного напряжения 0-25 В	1						
		<i>Приборы, измерительное оборудование</i>							
	P1	Счетчик воды YF-S201	1						
		<i>Потенциометры</i>							
Подп. и дата	RP1	Модуль потенциометра RV09	1						
		<i>Выключатели</i>							
	SA1	Модуль кнопки KY-004	1						
Инв. № дубл.		<i>Устройства связи</i>							
	U1	Модуль беспроводной связи NRF24L01	1						
Взам. инв. №		<i>Соединения контактные</i>							
	X1	Разъем для блока питания 5 В, 2 А	1						
20-110404.133.09.331.03 ПЗ									
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Система-передатчик данных Перечень элементов	ТГУ ЭЛМ-1801а		
	Разработ.	Сидоренко А.И.						Лист	Лист
	Проб.	Прядилов А.В.							
	Н.контр.	Прядилов А.В.							
	Учб.	Шевцов А.А.					1		

Копировал

Формат А4

Приложение Д

Перечень элементов электрической принципиальной схемы системы-приемника

		Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание				
Перв. примен.		<i>Устройства</i>							
		A1	Плата Arduino Nano	1					
		A2	Ethernet-модуль W5500	1					
		<i>Пьезоэлементы</i>							
Справ. №		BQ1	Модуль зуммера KY-006	1					
		<i>Индикаторы символьные</i>							
		HG1	LCD-дисплей 16x02	1					
		<i>Реле</i>							
Подп. и дата		K1	Модуль реле KY-019	1					
		<i>Устройства связи</i>							
		U1	Модуль беспроводной связи NRF24L01	1					
		<i>Светодиоды</i>							
Инв. № дубл.		VD1	Модуль RGB-светодиода KY-016	1					
		<i>Транзисторы</i>							
Взам. инв. №		VT1	Модуль MOSFET-транзистора IRF520	1					
		<i>Соединения контактные</i>							
Подп. и дата		X1	Разъем для блока питания 5 В, 2 А	1					
		20-110404.133.09.331.04 ПЗ							
Инв. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Система-приемник данных		
		Разраб.	Сидоренко А.И.						
		Пров.	Прядилов А.В.						1
		Н.контр.	Прядилов А.В.				Перечень элементов ТГУ ЭЛМ-1801а		
		Утв.	Шевцов А.А.						

Копировал

Формат А4