

РАЗДЕЛ 2

МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, МЕХАНИЗМЫ В ТЕХНИКЕ

УДК 332

УМНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ НА ПЛАТФОРМЕ ОДНОПЛАТНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ¹

Е. В. Буценко, А. В. Курдюмов

SMART FARMING ON A SINGLE-BOARD COMPUTER PLATFORM

E. V. Butsenko, A. V. Kurdyumov

Аннотация. *Предмет и цель работы.* Рассмотрены основные тренды в развитии сельского хозяйства и АПК. В настоящее время для данной отрасли первоочередными задачами являются совершенствование, разработка и внедрение проектов интеллектуального сельского хозяйства, которое включает в себя принципы автоматизации и роботизации производства. Рассмотрены вопросы разработки системы автоматизированного управления хозяйственными процессами для сельскохозяйственного предприятия. Определены основные этапы создания аппаратной части системы, использования микроконтроллеров, сенсоров и модулей. Исследованы вопросы организации серверной части разрабатываемой системы, а также подключения датчиков и модулей к микроконтроллеру. *Материалы и методы.* Представлена разработка модулей мониторинга и управления электроэнергией, светом, температурой и влажностью с использованием языка программирования C++. Проведен анализ тестовых модулей под управлением микроконтроллера. *Результаты и выводы.* Апробация системы выполнена на базе агрофирмы «Восточная» Свердловской области. Дальнейшее развитие данного научного исследования может быть направлено на создание и применение различных IoT-технологий в аграрном секторе, в т.ч. использование архитектурных платформ для разработки актуальных прикладных решений.

Ключевые слова: IoT-система, система мониторинга и управления, АСУ, интеллектуальная автоматика, разработка системы, сельское хозяйство, сельскохозяйственное предприятие

Abstract. *Subject and goals.* The article discusses the main trends in the development of agriculture and the agro-industrial complex. Currently, for this industry, the priority tasks are the improvement, development and implementation of projects of intelligent agriculture, which includes the principles of automation and production robotization. The paper deals with the development of a system of automated management of business processes for an agricultural enterprise. The main stages of creating the hardware of the sys-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-010-00886 «Комплексное экономико-правовое исследование повышения конкурентоспособности агропромышленного комплекса Российской Федерации в условиях развития и интеграции информационно-цифровых систем».

tem, using microcontrollers, sensors and modules are defined. The organization of the server part of the developed system, as well as the connection of sensors and modules to the microcontroller, are investigated. *Materials and methods.* The development of modules for monitoring and managing electricity, light, temperature and humidity using the C ++ programming language is presented. The analysis of test modules under the control of the Arduino microcontroller is carried out. *Results and conclusions.* The practical implementation of the developed system is made on the basis of the Vostochnaya agricultural firm of the Sverdlovsk region. Further development of this research area may be aimed at the creation and application of various IoT technologies in the agricultural sector, including the use of architectural platforms for the development of relevant application solutions.

Keywords: IoT-system, monitoring and control system, automated control system, intelligent automation, system development, agriculture, agricultural enterprise

Введение

В связи с ростом численности населения планеты для обеспечения потребностей человечества мощности заводов и хозяйств должны увеличиться на 70–100 %. По этой причине компании активно внедряют проекты «Индустрии 4.0», чтобы подготовиться к росту нагрузки. В России примерно каждое десятое аграрное хозяйство или крупный холдинг использует цифровые технологии, чтобы повысить свою эффективность.

В первую очередь отрасль сейчас запускает проекты интеллектуального сельского хозяйства, которое включает в себя принципы автоматизации и роботизации производства.

Аграрные smart-системы должны как можно меньше использовать внешние ресурсы (топливо, химикаты), чтобы снизить нагрузку на экологию. При этом в сельском хозяйстве все чаще применяются «зеленые технологии»: возобновляемые источники энергии, биотопливо, органические удобрения и т.д.

Около 80 % отраслевых производителей, которые работают в Евросоюзе, по состоянию на 2018 г. внедрили элементы Интернета вещей, в США – около 60 % компаний. Такие данные приводят авторы обзора «Мониторинг и прогнозирование в области цифрового сельского хозяйства» [1].

В Испании инновационная продукция занимает 12,7 % в общем объеме отгруженных товаров и работ в аграрно-промышленном комплексе, в Дании – 11,6 %, в Нидерландах – 9,2 % [2].

В России примерно каждые десятая ферма, хозяйство или холдинг внедряют технологии точного земледелия. Таковы результаты опроса, проведенного журналом «Агроинвестор» среди 200 участников рынка [3].

Под термином «точное земледелие» (Precision Farming) эксперты подразумевают интегрированную сельскохозяйственную производственную систему. В ее контуре сотрудники используют IT-технологии, инструменты автоматического контроля за оборудованием, сенсорную технику и пр.

Инновационная продукция в отечественном АПК занимает всего 1,4 % во всем объеме отраслевых товаров и работ, возможности IoT используют 0,05–5 % производителей РФ [4].

«В России эти технологии только внедряются и потеряно очень много времени, в то время как другие страны уже давно этим занимаются и поэтому далеко продвинулись. Но сельскохозяйственный потенциал в России очень велик, поэтому с точки зрения перспективы данные технологии будут вос-

требованы», – цитируют авторы доклада КубГАУ заявление директора Центра практического обучения DEULA-Nienburg Бернарда Антельмана [1].

В отрасли есть большой потенциал для снижения затрат. Например, на производстве зерновых культур можно сэкономить около 30 %, если внедрить инструменты цифровой экономики. Сейчас себестоимость 1 тонны зерна составляет 6,58 тыс. рублей, показатель реально сократить до 5,07 тыс. рублей [1].

По итогам 2018 г. активно внедряли элементы точного земледелия в Краснодарском крае (189 хозяйств), Воронежской (182) и Нижегородской областях (144). На сегодняшний момент в отечественном сельском хозяйстве пользуются популярностью несколько цифровых решений.

Наиболее востребованы так называемые системы параллельного вождения на базе GPS: с помощью спутниковой навигации аграрии могут удаленно контролировать прямо- и криволинейную езду машин, при этом сводить к минимуму перекрытия и недоходы машин между загонками.

Еще одно IT-решение, которое интересует участников рынка, – это картирование урожайности. За счет специальных датчиков, бортовых компьютеров и приемников GPS удастся составить специальные карты урожайности и влажности зерна. Компании получают точные прогнозы о том, какие будут результаты сбора в конце сезона [5].

Кроме того, в России начинают появляться решения по так называемому «дифференцированному внесению удобрений», эта система помогает распределять подкормки наиболее эффективно.

Таким образом, разработка IT-систем управления для данной области хозяйствования является приоритетным направлением развития государственной экономики, которое нуждается в разработке современных инструментов для управления своими подсистемами.

Итак, современный уровень развития сельского хозяйства и АПК предъявляет очень высокие требования к организации всех его процессов, начиная от выбора земельных угодий до обеспечения безопасности и контроля за вспомогательной техникой. Повышаются требования к надежности сложных систем управления хозяйствами.

В результате инженерное оснащение предприятий неуклонно усложняется, и растет количество устройств, участвующих в формировании этой среды.

Цель настоящего исследования – совершенствование и разработка автоматизированной системы управления сельскохозяйственным предприятием по осуществлению функций мониторинга и управления его хозяйственными процессами.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить основные принципы функционирования разрабатываемой системы автоматического управления оборудованием для мониторинга и управления хозяйственными процессами предприятия;
- определить микроконтроллеры как основной инструмент реализации аппаратной части мониторинга;
- исследовать использование сенсоров, модулей и плат расширения, совместимых с микроконтроллерами;

- рассмотреть возможность использования вычислительного сервера, который будет обрабатывать данные, переданные с микроконтроллера;
- определить основные радиоэлектронные и электротехнические процессы;
- выявить недостатки выбранных путей реализации и предложить альтернативные способы их решения.

Результаты исследования

Рассмотрим основные принципы работы системы на примере агрофирмы, использующей технологию выращивания культур на основе системы закрытого грунта.

В каждом современном хозяйстве в той или иной степени функционирует большое количество оборудования, обеспечивающего и создающего полноценную рабочую среду. Удобство управления этими системами, их интеграция друг с другом, возможность слаженно работать вместе, увеличивая тем самым функциональность каждой из них в отдельности, – дает возможность назвать такое хозяйство умным или интеллектуальным. IoT-система (от англ. Internet of Things – Интернет вещей) поддерживает оптимальным образом постоянный микроклимат, сохраняя тем самым нужную температуру, влажность и освещенность.

Такая автоматизированная система управления на основе технологий IoT (в дальнейшем – АСУ, IoT-система) в постоянном режиме отслеживает все инженерные системы и не допускает возникновения чрезвычайных ситуаций. Управление заключается и в получении информации о состоянии системы в целом, а также ее передаче на любое расстояние. Рассматриваемый вид АСУ – это система интеллектуальной автоматики для управления инженерными системами современного хозяйства.

Система интеллектуальной автоматизации сельскохозяйственного предприятия (СИАСП) обеспечивает механизм централизованного контроля и интеллектуального управления в офисных, производственных, вспомогательных и подсобных помещениях хозяйства, мастерских, складах, нефтебазе, автогараже и т.д. Применение системы позволяет хозяйству задавать параметры индивидуальной среды, осуществлять управление всеми подсистемами, получать доступ к информации о состоянии всех систем.

Интерфейс СИАСП основан на взаимодействии с сенсорными видеопанелями, которые отображают план любого помещения или окружающей территории и выводят изображения с видеокамер.

При работе системы по выбранному сценарию работник хозяйства оперативно меняет параметры устройств. При установке определенных режимов система отключит или переведет в экономный режим работы, неиспользуемые помещения (климатические теплые камеры, кондиционеры и т.п.), включит режим охраны периметра. Тем самым обеспечивается экономный и безопасный режим работы оборудования. Об аварийных ситуациях система оповестит через встроенные акустические системы или, если будет поручено, дозвонится до специальных служб – МЧС, полиции, пожарной части.

Огромное количество функций возлагается на микроконтроллеры. Они программируются на плате с помощью среды разработки и языка программирования, основанного на C/C++.

Сенсоры в СИАСП измеряют разные физические величины или реагируют на физические явления и отправляют эту информацию в виде электрического сигнала.

На основе действия фоторезистора создана схема, передающая данные об уровне освещенности в виде аналогового сигнала на управляющую электронику. Для этого реализован элементарный делитель напряжения, где одним из резисторов является фоторезистор, а вторым – резистор на 100 кОм.

Пирозлектрический сенсор фиксирует движение теплых объектов. Выходной информацией с сенсора является бинарный цифровой сигнал – если движения нет, сигнальный контакт установлен в логический ноль. При фиксации движения сигнальный контакт устанавливается в логическую единицу на некоторый промежуток времени.

К системе подключены инфракрасный и ультразвуковой дальномеры [6]. Первый используется для объезда препятствий и ориентирования на местности. Второй – для определения расстояния до объектов путем генерации звуковых импульсов, распространяемых звуковой волной до объекта и обратно.

Также в СИАСП имеются функциональные модули, несущие в себе определенный механизм. Рассмотрим некоторые из них.

Для вывода текста используется LCD дисплей MT-16S2H.

Модуль геркона, внутри которого находятся гибкие металлические ферромагнитные контакты. Контакты перекрываются по длине, но находятся на небольшом расстоянии друг от друга. Их несколько, на разные включения (замыкание или размыкание). При поднесении магнита к геркону контакты замыкаются (или размыкаются). Если установить его как датчик контроля положения, то при поднятии какого-либо предмета сработает сирена.

Еще один модуль СИАСП предназначен для управления нагрузкой. Максимальное коммутируемое напряжение АС 250 В или DC 30 В. Номинальный коммутируемый ток 10 А. Контактная группа реле состоит из трех контактов, что дает возможность при управлении не только замыкать цепь, но и разрывать ее.

Для контроля работы модуля имеется светодиодный индикатор, он подключается к системе без дополнительной обвязки. Имеет гальваническую развязку и, следовательно, надежно защищен от высоковольтных источников.

Также в систему включены модули передачи данных, с помощью которых организована проводная и беспроводная связь между микроконтроллерами. Рассмотрим некоторые из них.

Модули беспроводной связи nRF24L01+, являющиеся приемопередатчиками, организуют беспроводной опрос датчиков, а также отправку команд к исполнительным устройствам системы. На их основе построена система радиуправления устройствами СИАСП и другими модулями. Благодаря высокой скорости передачи информации через радиопередатчики быстро передаются оцифрованный звук и изображения.

Этот трансивер выполнен на базе микросхемы nRF24L01+. Модуль поддерживает достаточно высокую скорость и может работать на 126 независимых каналах, поэтому сразу несколько устройств могут взаимодействовать между собой, не мешая друг другу.

Модуль nRF24L01 больше подходит для соединений типа «точка-точка», при котором каналы передачи данных никак не защищены. Он подключается к управляющей электронике по протоколу SPI с дополнительными управляющими контактами.

В СИАСП используется плата расширения Ethernet Shield, которая выступает в роли сетевого устройства для обращения к другим устройствам. Она основана на чипе Wiznet W5100, который поддерживает как TCP, так и UDP протоколы.

Для удаленного мониторинга и управления микроконтроллерами системы с подключенными сенсорами и модулями организован веб-сервер, который отвечает за прием и обработку запросов от клиентов к сайту.

Самыми распространенными веб-серверами являются Apache (65 % всех используемых в мире веб-серверов), IIS (12,46 %) и iPlanet server. Они поддерживают большое количество модулей, утилит и дополнений.

Для интрасети небольшого сельскохозяйственного предприятия наиболее оптимальным вариантом является Internet Information Server (IIS). Он имеет несложный процесс развертывания и настройки конфигурации, интеграцию со средствами управления доступом, инструменты контроля параметров системы Performance Monitor и т.п. У IIS можно отметить достаточно высокое быстродействие. Его компоненты поддерживают протоколы HTTP, HTTPS, FTP, NNTP, SMTP, POP3.

Следующим шагом при создании СИАСП является подключение сенсоров и модулей к микроконтроллеру.

Для изменения сопротивления электрического тока в СИАСП используются резисторы общего назначения. Их сопротивление изменяется в пределах 10 %, что зависит от температурного коэффициента сопротивления.

Еще одним элементом системы является конденсатор как средство накопления электроэнергии в электрических цепях. Здесь конденсаторы применены как разделительные элементы там, где необходимо ограничить прохождение постоянного тока, но пропустить переменный.

Следующим элементом является транзистор. Для получения повышенной мощности используются схемы последовательного включения нескольких транзисторов (схемы Дарлингтона).

Далее рассмотрим микроконтроллер Arduino как наиболее доступное средство, на базе которого может быть создана система автоматики и робототехники для сельскохозяйственного предприятия.

Имеется несколько причин выбора данного микроконтроллера. Arduino давно уже перерос стадию «игрушек» и демонстрирует себя как серьезное средство разработки. В малых хозяйствах не имеет смысла разрабатывать специальные системы (как, например, Cropio – автоматическая система спутникового мониторинга сельскохозяйственных угодий [7]) ввиду их сложности и дороговизны. Для данного микроконтроллера создано большое количество бесплатных библиотек, с помощью которых можно запрограммировать необходимые для мониторинга и управления функции. Кроме того, для него выпускается множество видов сенсоров и другой электроники, покрывающей возможные потребности и запросы клиентов.

Итак, среда разработки микроконтроллера содержит два блока: `void setup () {}` и `void loop () {}`. Блок `setup` выполняется только один раз при старте. Блок `loop` определяет выполнение в цикле.

Перед загрузкой программы требуется задать необходимые параметры платы и портов.

При загрузке программы используется Загрузчик (Bootloader), который загружает программный код без использования дополнительных аппаратных средств. При перезагрузке платформы и при загрузке любой программы в микроконтроллер Bootloader активен в течение нескольких секунд. Его работа распознается по сигналам светодиода (13 пин).

Микроконтроллер использует мониторинг последовательной шины, который отображает отправляемые в платформу данные. При этом указывается скорость передачи, соответствующая значению `Serial.begin` в программе.

Определим в общем виде требования к разрабатываемому устройству.

Вначале происходит дистанционный сбор расхода количества киловатт, которые показывает счетчик электроэнергии, а также информации о нагрузке на электрическую цепь в данный момент.

Счетчик электроэнергии генерирует импульсы в соответствии с величиной потребляемой электроэнергии. Импульсы показывает светодиодный индикатор.

Затем можно приступить к созданию устройства, которое считывает показания счетчика и позволит в любой момент дистанционно узнать потраченное количество киловатт и нагрузку в данный момент.

Для того, чтобы подключить фоторезистор к микроконтроллеру, необходимо учесть, что на выходе цепи фоторезистора будет появляться напряжение в диапазоне от 0 до 5 В, которое требуется преобразовать в конкретное число для работы программы микроконтроллера.

В результате получается делитель напряжения, верхнее плечо которого будет меняться в зависимости от уровня света, падающего на фоторезистор. Считываемое с нижнего плеча напряжение подается на аналоговый вход, который преобразует его в число от 0 до 1024.

При создании программного кода необходимо учитывать уровень сложности процессора, его возможность корректно работать с числами с плавающей точкой и вероятность проведения сложных расчетов на сервере.

При большой нагрузке мигания импульсов счетчика, достаточно кратковременных и частых, микроконтроллер должен постоянно и очень быстро считывать показания фоторезистора, поэтому нежелательно его загружать многочисленными расчетами.

Далее создается переменная, которая показывает, к какому входу подключен фоторезистор. В блоке `loop` постоянно считываются показания фоторезистора и записываются в эту переменную.

В зависимости от того, был сигнал или нет, записывается количество миганий. Как только они достигнут передаточного числа счетчика, величина затрат электроэнергии станет равной 1 кВт, счетчик импульсов обнуляется, т.е. для выбранного счетчика 1 кВт он равен 1000 импульсов. Полученное значение электроэнергии передается на сервер для обработки и хранения статистической информации (рис. 1).

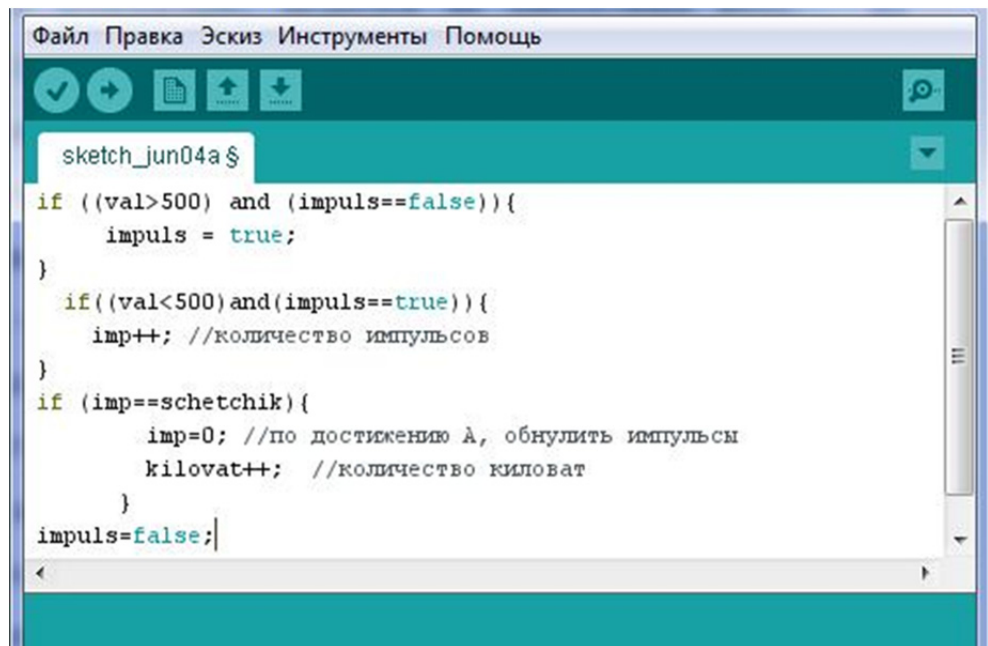


Рис. 1. Расчет расхода электроэнергии

Вычислительной мощности микроконтроллера достаточно для обработки этих значений в штатном режиме. Однако, чтобы реализовать мониторинг нагрузки, лучше не перегружать микроконтроллер дополнительными операциями, так как для вычисления нагрузки необходимо очень точно фиксировать время мигания индикатора, который может мигать несколько раз в секунду. Чем точнее будет время мигания, тем меньше будет погрешность в вычислениях.

Кроме определения количества киловатт, необходимо знать нагрузку в данный момент. Для этого используется команда `millis()`, которая запускает секундомер. Если запомнить время, когда счетчик включился и когда выключился, то посчитав разность этих значений, определяется время длительности одного импульса (рис. 2).

Отдельно для каждого помещения фиксируется потребляемая мощность каждого электроприбора при поочередном включении их в сеть при минимальной нагрузке сети. На основании этих данных определяется, какие приборы могут быть включены в данный момент.

Если по какой-то причине работник забыл выключить электроприбор, то зайдя на веб-сервер, он сможет увидеть, какие приборы сейчас включены, что позволит сократить расход электроэнергии.

Кроме мониторинга показаний электроэнергии, система должна уметь определять и фиксировать температуру окружающей среды как внутри помещений, так и снаружи.

Для измерения температуры внутри помещений используется датчик температуры и относительной влажности DHT11. Показания, которые фиксирует данный сенсор, выводятся на дисплей LCD 1602, а также отправляются на сервер для сбора и вывода статистической информации.

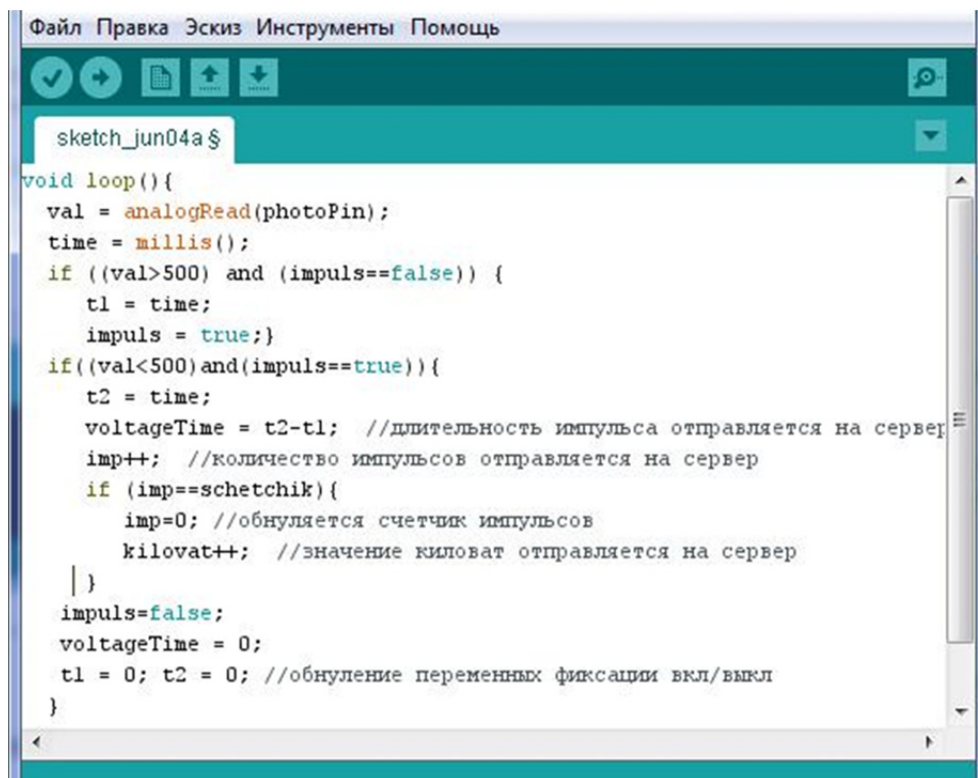


Рис. 2. Фиксация времени для расчета нагрузки

Для измерения температуры внутри помещений используется датчик температуры и относительной влажности DHT11. Показания, которые фиксирует данный сенсор, выводятся на дисплей LCD 1602, а также отправляются на сервер для сбора и вывода статистической информации (рис. 3).

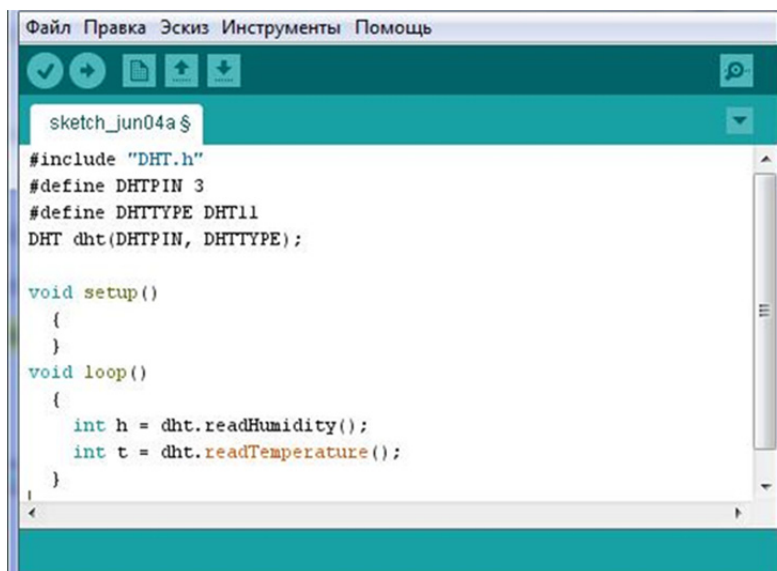


Рис. 3. Считывание показателей с датчика температуры

Зафиксированные данные отправляются на сервер. Также температуру можно выводить на дисплей, чтобы каждый раз не заходить на сайт. Для этого используется библиотека LiquidCrystal.h. Она подключается командой `#include`, затем инициализируется LCD с указанием управляющих контактов командой `LiquidCrystal lcd ()`. В блоке `setup` задается размерность дисплея командой `lcd.begin (x, y)`.

Также добавлены функции: вывод на экран текущего значения температуры; вывод минимального и максимального значения; вывод влажности.

Для того, чтобы вся эта информация поместилась на дисплее, добавляется функция смены экрана один раз в три секунды. Работает эта функция путем очистки экрана и вывода символов заново.

На первом экране отображается показатель текущей температуры, на втором – минимальное и максимальное значения температуры, а на третьем – влажность.

Реализованы данные функции командой `millis ()`, которая запускает счетчик и отсчитывает три секунды, затем меняет экран на следующий, в зависимости от того, какой был включен. При этом порядок экрана задается с помощью переменных `d1`, `d2`, `d3` типа `boolean`, означающих соответственно температуру, минимальное и максимальное значение температуры, а также влажность.

Начальные значения для `d1`, `d2` и `d3` задаются равными `true`, `false` и `false` соответственно. Это означает, что при старте программы на дисплее будет отображена информация о текущей температуре.

При отображении текста на дисплее фиксируется время `t1`, равное текущему времени счетчика. Как только разность времени счетчика и зафиксированного значения `t1` становится больше 3000 мс (трех секунд), информация с дисплея удаляется. При этом `t1` снова изменяется на текущее значение времени счетчика и `d1`, `d2`, `d3` становятся равными `false`, `true`, `false`. Это означает, что в данный момент будет активен экран, на котором отображаются минимальное и максимальное значения температуры.

Экран с отображением влажности реализован аналогично. Таким образом, получается циклическая смена отображения информации на экране раз в три секунды. Это позволяет следить за показаниями температуры и относительной влажности в помещении без необходимости заходить на веб-интерфейс, на котором будет храниться информация. Данный способ отображения информации показан на рис. 4.

Также в СИАСП разработан модуль, выполняющий автоматическое оповещение о незаконном проникновении на территорию хозяйства. Информирование происходит по любому известному каналу связи (громкоговоритель, телефон, электронное сообщение и т.п.).

Для фиксации открытия или закрытия дверей используется модуль геркона. Чтобы не расходовать свободные ресурсы микроконтроллеров, геркон подключается к микроконтроллеру, фиксирующему температуру и влажность, и выводит показания на дисплей через свободный цифровой выход.

Подключение библиотек в данном случае не нужно. Для получения данных от модуля геркона задается цифровой выход на микроконтроллере. Затем эта информация считывается в блоке `loop`. Результат передается на сервер, который информирует об открытии и закрытии двери по каналу связи. Состояние открытия или закрытия входной двери выводится на уже используемый дисплей, так как в нем свободна нижняя строка в 16 символов.

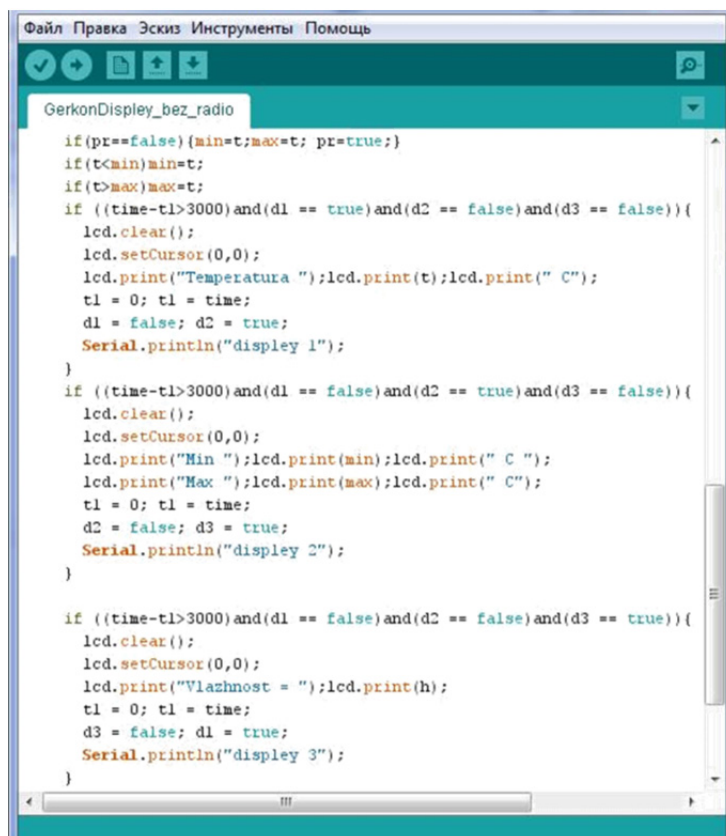


Рис. 4. Последовательный вывод текста на дисплей

Таким образом, можно быть полностью уверенным, что в помещение никто не проник во время отсутствия в ней работников. Также можно узнать, сколько раз и в какое время открывалась и закрывалась входная дверь, и определить сколько времени она была открыта.

Также для экономии электроэнергии установлены датчики движения, которые дают команду на автоматическое включение света при появлении работников.

При использовании инфракрасного датчика движения перемещение неодушевленных предметов не влияет на автоматическое включение света. Он считывает тепловое излучение от объекта и на основании изменения положения теплового излучения отправляет 0 или 1 на микроконтроллер. Если движения не было – сигнал нуль, иначе – 1.

Приведем результаты анализа тестовых модулей микроконтроллера.

Микроконтроллер является многофункциональным, но имеет ряд ограничений. Первое заключается в небольшом объеме памяти. 32 и 64 Кб памяти достаточно для написания компактных программ. При значительном масштабе операций необходимо использовать внешний модуль памяти.

Другое ограничение – невысокие вычислительные характеристики. Как показал анализ работы микроконтроллера в качестве автоматического считывания показателя счетчика электроэнергии, данный микроконтроллер некорректно работает с вещественными числами. При работе с ними он может потерять некоторый остаток от дробной части или обнулить переменные при их делении.

Чтобы избежать этого, необходимо в отдельных ситуациях отправлять данные на обработку на внешний сервер, а также использовать дополнительные устройства обработки такие, например, как Raspberry Pi 2 Model B. На его плате имеется процессор, оперативная память, разъемы HDMI, USB, Ethernet, аналоговые аудио- и видеовыходы. Также на плате расположены 40 контактов ввода/вывода общего назначения. К ним можно подключить периферию для взаимодействия с исполнительными устройствами типа контактного реле, сервомоторов и любых сенсоров.

Микроконтроллеры, работающие в системе, имеют 512 байт EEPROM – энергонезависимой памяти, в которой хранятся данные, доступные после отключения питания. Это позволяет фиксировать сбои программы и, соответственно, не допускать перегрузки микроконтроллера.

Заключение

Сегодня Интернет вещей в аграрном секторе является одной из наиболее перспективных ниш развития агротехнологий. Внедрение технологий искусственного интеллекта в сельское хозяйство несет выгоды для бизнеса России [8].

В данной работе рассмотрен такой элемент цифровизации аграрного комплекса России, как умное земледелие. Представлена разработка IoT-системы для сельскохозяйственного предприятия, осуществляющая функции мониторинга и управления электроэнергией, температурой и влажностью. С ее помощью реализовано автоматическое управление различных устройств на платформе одноплатных компьютеров. Проанализированы ограничения и возможные сбои в ее работе, предложены пути их решения.

Практическая реализация СИАСП проводилась на базе агрофирмы «Восточная» Байкаловского района Свердловской области, основным направлением деятельности которой является растениеводство. Эффект от тестового внедрения привел к повышению урожайности до 25 %, снижению затрат электроэнергии на 30 %, воды – на 20–30 %.

Использование разработанного программного обеспечения для интеллектуальных систем в сельском хозяйстве позволит предприятию устойчиво, экономически стабильно развиваться, что является приоритетной задачей любого хозяйствующего субъекта в современных условиях развития общества.

Библиографический список

1. Мониторинг и прогнозирование научно-технологического развития АПК в области точного сельского хозяйства, автоматизации и роботизации / Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко, Л. А. Дайбова, А. С. Креймер, Ю. В. Подушин, Е. М. Белая. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 199 с.
2. Министерство инфраструктуры и окружающей среды Нидерландов. – URL: <https://www.ilent.nl>
3. Журнал «Агроинвестор». – URL: <http://www.agroinvestor.ru>
4. Минсельхоз России. – URL: <http://mcx.ru>
5. Федоренко, В. Ф. Интеллектуальные системы в сельском хозяйстве : науч. аналит. обзор / В. Ф. Федоренко, В. Я. Гольяпин, Л. М. Колчина. – Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 156 с.
6. Sensing technologies for precision specialty crop production / W. S. Leea, V. Alchanatisb, C. Yangc, M. Hirafuji, D. Moshoue, C. Lif // Computers and Electronics in Agriculture. – 2010. – С. 2–33.
7. Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming / Redmond Ramin Shamshiri, Cornelia Weltzien, Ibrahim A. Hameed, Ian J. Yule, Tony

E. Grift, Siva K. Balasundram, Lenka Pitonakova, Desa Ahmad, Girish Chowdhary // *Int J Agric & Biol Eng.* – 2018. – Vol. 11, № 4. – 14 с.

8. Semin, A. Problems and Main Mechanisms to Increase Investment Attractiveness of Agricultural Production / A. Semin, A. Kibirov, U. Rassukhanov // *European Research Studies Journal.* – 2018. – Vol. XXI, iss. 2. – P. 378–400.

References

1. Truflyak E. V., Kurchenko N. Yu., Daybova L. A., Kreymer A. S., Podushin Yu. V., Belaya E. M. *Monitoring i prognozirovanie nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya APK v oblasti tochnogo sel'skogo khozyaystva, avtomatizatsii i robotizatsii* [Monitoring and forecasting of scientific and technological development of agriculture in the field of precision agriculture, automation and robotics]. Krasnodar: KubGAU, 2017, 199 p. [In Russian]
2. *Ministerstvo infrastruktury i okruzhayushchey sredy Niderlandov* [Ministry of infrastructure and environment of the Netherlands]. Available at: <https://www.ilent.nl> [In Russian]
3. *Zhurnal «Agroinvestor»* ["Agroinvestor" Magazine]. Available at: <http://www.agroinvestor.ru> [In Russian]
4. *Minsel'khos Rossii* [The Ministry Of Agriculture]. Available at: <http://mcx.ru> [In Russian]
5. Fedorenko V. F., Gol'tyapin V. Ya., Kolchina L. M. *Intellektual'nye sistemy v sel'skom khozyaystve: nauch. analit. obzor* [Intelligent systems in agriculture : scientific. analyte. review]. Moscow: FGBNU «Ros-informagrotekh», 2017, 156 p. [In Russian]
6. Leea W. S., Alchan-atisb V., Yang C., Hirafuji M., Moshoue D., Lif C. *Computers and Electronics in Agriculture.* 2010, pp. 2–33.
7. Redmond Ramin Shamshiri, Weltzien Cornelia, Hameed Ibrahim A., Yule Ian J., Grift Tony E., Balasundram Siva K., Pitonakova Lenka, Ahmad Desa, Chowdhary Girish *Int J Agric & Biol Eng.* 2018, vol. 11, no. 4, 14 p.
8. Semin A., Kibirov A., Rassukhanov U. *European Research Studies Journal.* 2018, vol. XXI, iss. 2, pp. 378–400.

Буценко Елена Владимировна

кандидат экономических наук, доцент,
кафедра бизнес-информатики,
Уральский государственный
экономический университет
(Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/
Народной Воли 62/45)
E-mail: evl@usue.ru

Butsenko Elena Vladimirovna

candidate of economical sciences,
associate professor,
sub-department of business informatics,
Ural State University of Economics
(62/45 8 Marta street/ Narodnoy Voli,
Ekaterinburg, Russia)

Курдюмов Александр Васильевич

кандидат экономических наук, доцент,
заведующий кафедрой конкурентного права
и антимонопольного регулирования,
Уральский государственный
экономический университет
(Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/
Народной Воли 62/45)
E-mail: kurdyumov@usue.ru

Kurdyumov Aleksandr Vasilievich

candidate of economical sciences,
associate professor,
head of sub-department of competition
and antitrust regulation,
Ural State University of Economics
(62/45 8 Marta street/ Narodnoy Voli,
Ekaterinburg, Russia)

Образец цитирования:

Буценко, Е. В. Умное земледелие на платформе одноплатных компьютеров /
Е. В. Буценко, А. В. Курдюмов // *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе.* – 2019. – № 1-2 (29-30). – С. 95–107.