

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

**Цифровой датчик температуры с передачей данных в компьютер**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студентки 4 курса 461 группы

направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Тихоновой Антонины Сергеевны

Научный руководитель:

профессор, д.ф.- м.н., доцент

\_\_\_\_\_

В.И.Пономаренко

подпись, дата

Зав. кафедрой:

д.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

Е.П. Селезнев

подпись, дата

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Автоматизация измерений в настоящее время является важной составляющей прогресса науки. Это относится не только к измерениям в технике, но также и в медицине, физиологии и научных исследованиях. С одной стороны, это заключается в создании специальных автоматических устройств, а с другой стороны, управление ими требует точного измерения самых разнообразных физических величин. Измерять нужно как электрические (напряжение, ток, сопротивление), так и неэлектрические величины (перемещение, ускорение, сила воздействия, температура). Наиболее распространенными являются измерения температур [1, 2].

Требования к датчикам в зависимости от задачи и условий измерения включают в себя диапазон измерений, быстродействие, точность, помехоустойчивость, устойчивость к внешним воздействиям, и др. В то же время, для всех температурных датчиков, вне зависимости от их типа, общим является принцип преобразования измеряемой температуры в электрическую величину. А для измерения электрической величины применяют универсальные принципы, свойственные всем измерительным схемам. Для этого используют усилители, конверторы, аналого-цифровые преобразователи, различные измерительные приборы. В случае, когда электрическая величина преобразуется в цифровой сигнал, его достаточно легко передавать стандартными способами.

Некоторые температурные измерительные приборы обладают возможностью длительного мониторинга температуры. Такая задача стоит, в частности, и в медицинских учреждениях, поскольку температура тела (и различных органов человека), ее динамика, может служить важным диагностическим признаком и сигнализировать о состоянии здоровья пациентов. При автономной работе процесс измерения может происходить

без участия медицинского персонала, а это исключает влияние человеческого фактора. Поэтому выбранная тема является актуальной.

**Цель бакалаврской работы** – разработка устройства, измеряющего температуру, на базе Ардуино.

В рамках дипломной работы были поставлены **следующие задачи**:

1. Ознакомиться с методами измерения температуры.
2. Сделать обзор датчиков измерения температуры, в частности, датчиков с возможностью подключения к платформе Ардуино.
3. Подключить датчик температуры к платформе Ардуино и написать программу, позволяющую записывать показания температуры в EEPROM с последующим выводом на виртуальный COM—порт компьютера.
4. Сделать устройство с автономным питанием для передачи температуры в компьютер или записи суточных колебаний температуры (время регистрации – каждые 5 минут).
5. Провести эксперименты с длительным мониторингом температуры и исследовать полученные временные ряды.

**Структура и объём работы.** Бакалаврская работа состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка использованных источников и 1 приложения. Общий объём работы – 42 страниц, из них 39 страниц – основное содержание, включая 12 рисунков и 2 таблицы, список использованных источников информации – 22 наименования.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Первый раздел «Температура и ее измерение»** посвящен терминам и методам касательно температуры и термометрии.

С точки зрения физики, **температура** – это такая физическая величина, которая характеризует состояние термодинамического равновесия макроскопической системы [22]. Если говорить об интуитивном понимании температуры, то она выражает степень нагретости тела. С точки зрения медицины, температура тела человека должна находиться в балансе с

окружающей средой. У здорового человека температура тела практически не изменяется при изменении температуры окружающей среды в широких пределах.

**Термометрия** – комплексные способы или методы установления температурных параметров, например, температуры человеческого тела.

В России и множестве стран мира стандартом измерения температуры, является шкала Цельсия, но в некоторых странах используют шкалу Фаренгейта, например, на территории Англии и Америки.

Способы измерения температуры различают по принципу получения результатов и разделяют на виды. Существует контактный метод измерения, заключающийся в передаче тепла устройству, которое в свою очередь определяет температуру путем специального соединения, также используются бесконтактные устройства, которые способны получать информация через промежуточную среду в основном через воздушное пространство используя излучение. Таким образом, измеряющие температуру устройства разделяют на бесконтактные и контактные. В медицинских исследованиях самым применяемым методом является контактная термометрия, одним из главных достоинств которой является надежное предоставление данных температуры от изучаемого объекта к термочувствительному элементу измерительного прибора[13,14].

**Второй раздел «Виды датчиков температуры»** посвящен обзору датчиков и их принципу действия.

В основе работы **термопреобразователей**, или как их ещё называют, терморезисторов (рис.1), лежит изменение электрического сопротивления материала термопреобразователя, которое полностью зависит от температуры от изменения температуры[1].

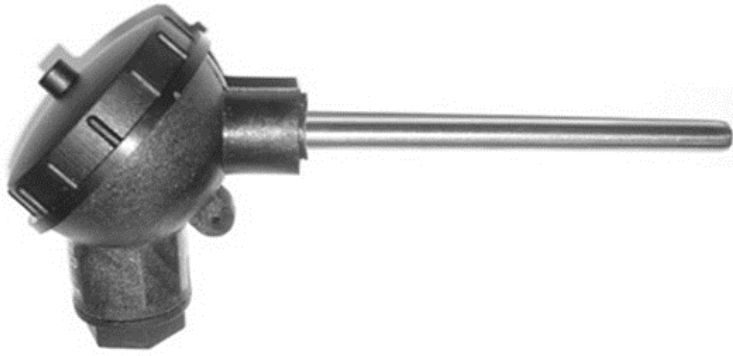


Рис.1 Термопреобразователь

Возникновение термоЭДС в месте спая 2-ух разных металлов является принципом действия термопары (рис. 2). Разность температур между точкой подключения («холодным» концом) к измерительному прибору и спаем («горячим» концом) пропорциональна величине ЭДС. Хромель—алюмель (ХА), хромель—копель (ТХК), платинородий—платина (ТПП) получили наибольшее распространение в России. Также существуют и некоторые другие типы термопар [6].



Рис.2 Внешний вид типичной термопары.

**Пирометры** (рис.3) являются бесконтактными датчиками, которые регистрируют излучение, исходящее от нагретых тел. Их не требуется помещать в исследуемую среду. Вследствие помещения датчика в среду часто происходит искажение измеряемого температурного поля и снижение стабильности характеристик датчика [9].



Рис.3 Пирометр

**Кварцевые термопреобразователи** основаны на зависимости собственной частоты кварцевого элемента от температуры. Диапазон измерений от  $-80$  до  $250^{\circ}\text{C}$ . Принцип действия таких датчиков основан на зависимости частоты преобразователя от температуры и линейности функции преобразования, которые изменяются в зависимости от ориентации среза относительно осей кристалла кварца [1,6].

Для измерения высоких и средних температур используются **акустические термодатчики**. Принцип действия таких датчиков заключается в том, что изменение температуры происходит, когда меняется скорость распространения звука в газах[6].

Одной из отличительных характеристик **цифровых датчиков** температуры является прямое преобразование температуры, не требующее внешних аналого-цифровых преобразователей и других составляющих, калибровка и коррекция свойств в процессе производства, также имеется возможность использования большого числа цифровых датчиков, работающих на одной шине. Конечно, само устройство должно содержать аналого-цифровой преобразователь и интерфейс для цифровой передачи информации, но поскольку это все сделано в одном корпусе, в едином технологическом процессе, оно получается достаточно дешевым[6].

**Третий раздел «Микроконтроллеры и платформа Arduino»** посвящен описанию микроконтроллеров и Arduino.

**Микроконтроллер** – это особая цифровая микросхема, которая содержит в себе целочисленный процессор, различные виды памяти, может также содержать периферию (аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи) и предназначена для того, чтобы получать аналоговые данные управлять различными электронными приборами.

Огромное множество фирм изготавливают различные микроконтроллеры, наиболее простые из них имеют разрядность 8 бит, но более дорогие модели могут быть 16-разрядными или даже 32-разрядными. Микроконтроллеры отличаются видом корпуса, производительностью, тактовой частотой, объемом постоянной и оперативной памяти.

Применение микроконтроллеров в датчиках для измерения температуры позволяет улучшить их эксплуатационные свойства: повысить точность, облегчить интеграцию в систему, автоматизировать калибровку, тестирование и т.п [21].

**Arduino** – это специально разработанная аппаратная платформа, которая включает в себя собственный микроконтроллер и микросхему для связи с компьютером. На Arduino расположены контакты, к которым при необходимости можно подключить различные компоненты, датчики (как аналоговые, так и цифровые), светодиоды, двигатели, другие исполнительные устройства. Поскольку платы Arduino можно запитывать как от внешнего источника, так и от USB-порта, на ее основе можно создавать устройства с автономным типом питания или вести работу с помощью проводного соединения через подключение к компьютеру[16].

**Аппаратная часть.** На плате кроме самого микроконтроллера, находится специальная микросхема для связи с компьютером через USB, а также разведены порты ввода-вывода и аналоговые входы. В новых версиях часто используется распространенный микроконтроллер ATmega328. На каждой плате находятся керамический резонатор на 16 МГц и линейный стабилизатор напряжения 5 В, необходимый при питании от внешнего

источника. Поскольку при изготовлении в каждый микроконтроллер заранее прошит загрузчик то внешний программатор не требуется, хотя интерфейс для программирования присутствует, и его можно при желании использовать.

Все платы программируются через последовательное соединение RS-232 , однако реализация данного метода отличается от версии к версии[17,19].

Внешний вид интерфейса среды разработки Arduino представлен на рис.5. Он включает в себя редактор кода программы, область, выдающую сообщения о корректности работы кода и самой платы, окна вывода текста и инструментальные панели управления, а также главное меню. Язык программирования Arduino является стандартным C++. При разработке программы необходимо написать ее текст, проверить ее работу (кнопка «Проверить») и загрузить написанную программу в микроконтроллер (кнопка «Загрузить»)[11,17].

В данной дипломной работе используется печатная плата **Arduino Uno** (рис.4). Она включает в себя микроконтроллер ATmega328. Данная плата имеет 14 цифровых и 6 аналоговых входа/выхода, генератор на 16МГц, разъем для подключения USB, ICP разъем и кнопку сброса. Для запуска платы нужно подключить её к компьютеру с помощью USB—кабеля, или обеспечить автономным питанием[12].



Рис.4 Плата Arduino Uno



**Четвертый раздел «Обзор датчиков температуры, подключаемых к Arduino»** посвящен описанию датчиков температуры, которые можно подключить к Arduino.

**Модуль KY-013** состоит из аналогового датчика температуры – терморезистора. Сопротивление меняется при изменении температуры корпуса терморезистора. Электроника грубо измеряет температуру воздуха при помощи датчика KY-013. Контролирование температуры воздуха является ключевым назначением датчика, также с его помощью можно контролировать температуру поверхности[18].

**Плата модуля KY-015** содержит главные составляющие: датчик относительной влажности и температуры DHT11, который заключен в синем корпусе, вилка соединителя и индикации питания со светодиодом. Внутри DHT11 маленькая плата, состоящая из следующих компонентов: емкостной датчик влажности, терморезистор, имеющий отрицательную характеристику и микроконтроллер.

Датчик используется для проектов “умный дом”, в автоматике управления кондиционированием, вентиляцией, современных приборах сушки воздуха и аналогичных приборах[18].

Контроль температуры воздуха в помещении обычно является основным назначением **модуля KY—028**, однако также он применяется как регуляторы температуры, автоматика системы отопления, автоматизация системы вентиляций. Определение превышения температурой установленного порога измеряется модулем, также он дает возможность грубо измерять температуру. Пороговое значение можно настроить достаточно точно, но используют модуль KY—001 с цифровым входом, если нужны более точные измерения температуры или для сборки электронного термометра[18].

В данной дипломной работе был использован **модуль DS18B20** температуры с разрешением, которое можно запрограммировать от 9 до 12 бит, также может сохраняться в память прибора EEPROM. Датчик может

работать в группе и быть единственным устройством на линии, в котором обмен данными идет по 1-Wire. Центральный микропроцессор управляет всеми процессами на шине[5].

**Пятый раздел «Аппаратная и программная часть устройства мониторинга температуры»** посвящен реализации целей поставленных в работе.

Для создания устройства мониторинга температуры была использована плата Arduino UNO и цифровой датчик температуры DS18B20. Схема подключения датчика представлена на рис. 5[4].

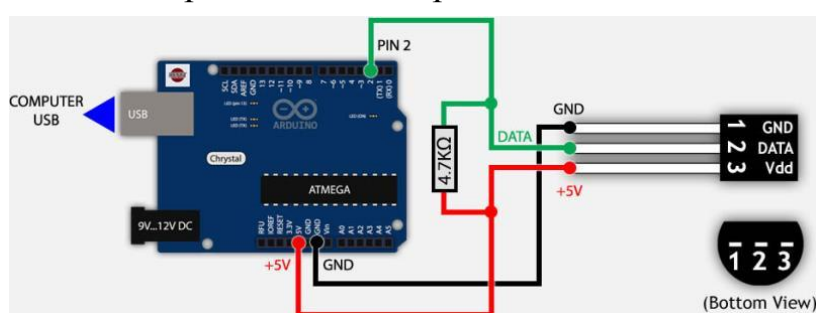


Рисунок 5. Схема подключения

В самом датчике для связи с Arduino используется интерфейс 1-Wire, который использует для связи только один информационный вывод. Кроме того, как видно на схеме (рис. 5), для подключения необходимо также запитать датчик напряжением питания. Каждый датчик имеет уникальный 64-битный серийный код устройства, который хранится в ROM датчика. Таким образом, к одному и тому же проводу для передачи информации можно подключать несколько датчиков температуры и опрашивать их с использованием уникальных адресов. Питание датчика может находиться в диапазоне от 3 до 5,5 вольт, поэтому можно использовать питание непосредственно платформы Arduino. Диапазон измеряемых температур от  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-67\text{ }^{\circ}\text{F}$  до  $+257\text{ }^{\circ}\text{F}$ ). В этот диапазон укладывается и температура окружающей среды, и температура тела человека, что позволяет использовать датчик в качестве монитора температуры окружающей среды или температуры тела.

В данной дипломной работе было использовано внешнее подключение. Обмен данными осуществлялся по средней ножке датчика DQ. Между выводом DQ и VDD потребуется подключить резистор номиналом 4,7 кОм, который служит для подтяжки выхода датчика. Питание подключается к выводам VDD датчика (к плюсу питания 5 вольт Arduino) и GND датчика (к минусу питания, или земле Arduino). DQ подключаем к цифровому пину 10 на Arduino UNO.

Питание Arduino может осуществляться тремя способами. Первый способ заключается в подаче питания через разъем питания (от 7 до 12 В), при этом напряжение питания контроллера формируется при помощи расположенного на плате стабилизатора. Второй способ – питание через контакт  $V_{in}$ , здесь требуется питание от 4.5 до 5 В, желательно стабилизированное. Третий способ – питание через USB). При этом напряжение питания составляет около 5 В и определяется стандартом USB.

В данном устройстве предполагается наличие двух режимов работы: первый режим – запись данных о температуре во внутреннюю память EEPROM, и при этом предполагается питание от автономного источника. Второй режим – это передача данных об измеренной температуре в компьютер, при этом питание будет осуществляться от шины USB.

Для питания я использовала батарею «Крона» на 9V, поскольку она компактна и позволяют производить измерения практически в любом месте.

Для того, чтобы сделать длительную запись изменения температуры, необходимо как минимум два режима работы.

Первый режим – это питание от автономного источника, при этом данные из датчика температуры записываются в память EEPROM. Этот вид памяти обычно используется для хранения настраиваемых параметров, которые во FLASH памяти можно не хранить. Обычно это делают, когда используется одна и та же программа во FLASH, но у нее есть ряд

параметров, которые нужно иногда изменять. Поскольку количество циклов перезаписи в EEPROM гарантируется не менее 100 тыс., то учитывая медленное изменение температуры, эту память можно использовать для хранения температурных измерений. Если измерять температуру 1 раз в 5 минут (для хранения одного измерения необходимо 2 байта), то за сутки будет записано 576 байт. Этот объем вполне уместится в памяти контроллера Atmega328, которая составляет 1024 байта. Также следует отметить, что запись в оперативную память, в массив данных, в данном случае невозможна, поскольку после выключения питания данные пропадают.

Второй режим использует питание от порта USB компьютера, это режим передачи данных в компьютер. При этом необходимо читать данные из EEPROM и передавать их при помощи оператора Serial в последовательный порт. В этом случае необходимо определить, есть ли подключение к компьютеру и в том случае, если оно есть, передавать данные в компьютер. Если же такого подключения нет, то необходимо записывать данные температуры. В языке программирования Arduino нет средств для определения наличия самого подключения, однако есть оператор, определяющий, есть ли в порте данные для чтения, это оператор Serial.available(). Этот оператор можно использовать и для того, чтобы начать передавать данные в компьютер, необходимо послать какие-нибудь данные на Arduino (достаточно 1 байта).

Таким образом, программа в среде разработки Arduino должна работать в соответствии со следующим алгоритмом:

Если в Arduino есть данные для приема с COM—порта, то:

- Считываем память EEPROM подряд начиная с адреса 0 и отправляем в COM—порт

Иначе:

- Читаем данные с датчика;

- Записываем данные в EEPROM по адресу с интервалом задержки – 5 минут;

Для проверки работы датчика был проведен эксперимент. Датчик с батареей был размещен на улице в 8:00. Эксперимент был прекращен ровно через 24 часа, вследствие чего было получено 288 значений температуры, которые были визуализированы на графике (рис. 6)

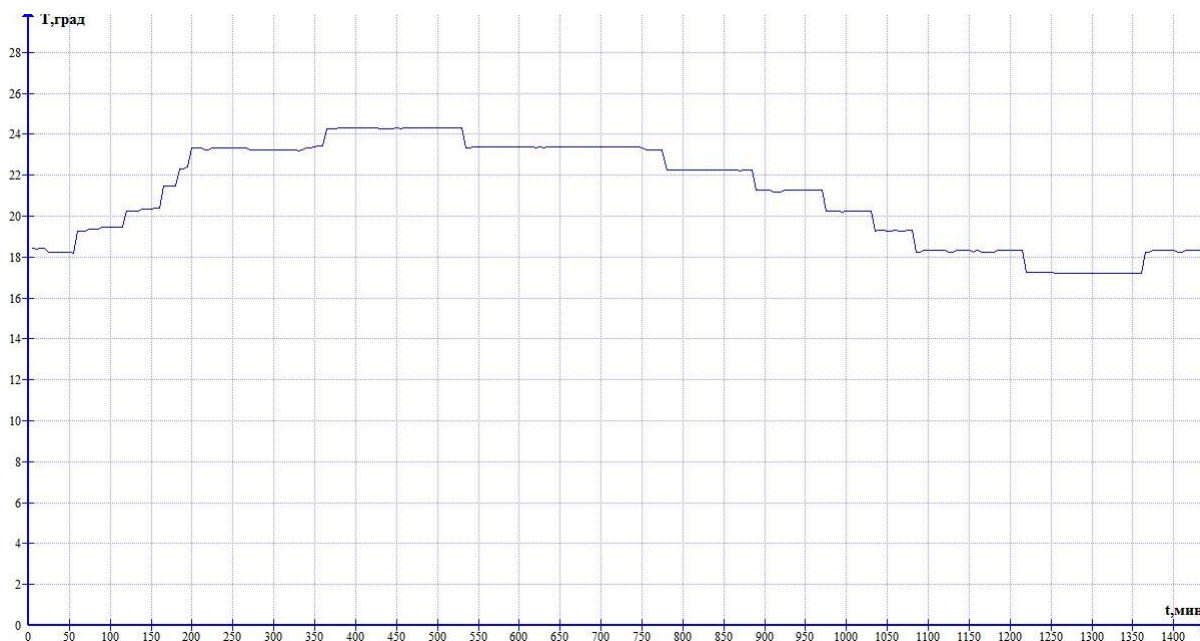


Рис. 6. График измерения температуры

При анализе данных были сделаны следующие выводы:

- Температура воздуха была максимальна ( $24,31^{\circ}\text{C}$ ) после полудня, в 14—16 часов, поскольку земная поверхность уже нагрелась и начала отдавать свое тепло воздуху (в полдень земля еще не отдает тепло, поскольку нагревается сама);
- Температура воздуха была минимальна ( $17,19^{\circ}\text{C}$ ) в начале следующего утра, в 5—6 часов. В это время и поверхность земли и воздух остыли, а солнечные лучи еще не начали нагревать землю.
- Амплитуда колебания температуры:
- Средняя суточная температура равна  $21,11^{\circ}\text{C}$ ;

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, в результате выполнения данной работы был проведен обзор литературы по методам измерения температуры, был проведен обзор по датчикам для измерения, в том числе подключаемым к Arduino. Был изготовлен монитор температуры на основе Arduino Uno и датчика температуры DS18B20. Это устройство работает в двух режимах: первый – режим измерений, при этом прибор работает от автономного питания и каждые 5 минут записывает показания в память EEPROM, а второй – режим передачи данных в компьютер.

Были проведены тестовые измерения температуры окружающего воздуха. Таким образом, показано, что прибор можно использовать для исследования суточных колебаний температуры, в том числе и у человека.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Датчики. Справочник. Под ред. З.Ю. Готры и О.И. Чайковского. — Львов: Каменщик, 1995.
2. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики. — Москва: Энергоатомиздат — Дания, 1989.
3. Саймон М. Програмируем Arduino. Основы работы со скетчами. — Санкт—Петербург, 2015.
4. Иго Том — Arduino, датчики и сети для связи устройств.— Санкт—Петербург, 2014 .
5. Чернов Г. DS18B20 русское описание работы с датчиком температуры. Днепропетровск, 2009.
6. Бартенев В.Г. Цифровые датчики температуры и их применение. Датчики и системы, 2004.
7. Гордов, А. Н. Основы температурных измерений.— Москва: Энергоатомиздат, 1992 .
8. Геращенко, О.А. Тепловые и температурные измерения: Справочное руководство / О.А. Геращенко, В.Г. Федоров .— Киев : Наукова думка, 1965 .
9. Олейник, Б. Н. Приборы и методы температурных измерений : учеб. пособие для сред. спец. учеб. заведений по спец. "Электротеплотехн. измерения" / [Б. Н. Олейник, С. И. Лаздина, В. П. Лаздин, О. М. Жагулло] .— Москва: Изд—во стандартов, 1987 .
10. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. — Санкт—Петербург: БХВ—Петербург, 2014
11. Улии Соммер, Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino. — Санкт—Петербург: БХВ—Петербург, 2016
12. Петин В.А. Практическая энциклопедия Arduino. — Санкт—Петербург: ДМК Пресс, 2017.
13. Попов М. Термометрия и калориметрия. — Москва: Издательство МГУ, 1954.

14. Ходунков В.П. Термометрия и инфракрасная радиометрия многофазных и многообъектных систем. —Санкт—Петербург: Политехника, 2013.
15. Федотов А. А., Акулов С.А. Измерительные преобразователи биомедицинских сигналов систем клинического мониторинга. – М.: Радио и связь, 2013.
16. Блум Джереми - Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства: Пер. с англ. — Санкт—Петербург: БХВ-Петербург, 2015.
17. Ревич Ю. В. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера. – 3-е изд., испр — Санкт—Петербург.: БХВ - Петербург, 2014.
18. Arduino—KiT—модули, датчики и сенсоры [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://arduino—kit.ru/>, свободный.
19. Аппаратная платформа Arduino [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://arduino.ru/>, свободный.
20. Программирование Arduino [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://arduino.ua/>, свободный.
21. Elektrik Info [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elektrik.info/>, свободный.
22. Википедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/>, свободный.