

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра дискретной математики и информационных технологий

**РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРНЕТА «УМНЫХ ВЕЩЕЙ»**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студента 4 курса 421 группы  
направления 09.03.01 — Информатика и вычислительная техника  
факультета КНиИТ  
Лаптева Юрия Владиславовича

Научный руководитель  
доцент, к. ф.-м. н.

\_\_\_\_\_

А. Д. Панфёров

Заведующий кафедрой  
доцент, к. ф.-м. н.

\_\_\_\_\_

Л. Б. Тяпаев

Саратов 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых концепций, позволивших расширить возможности технологических процессов, является «Интернет вещей».

«Интернет вещей» (англ. Internet of things, IoT) – концепция объединения различных устройств посредством информационных технологий. Устройства могут обмениваться информацией как при участии человека, так и без какого-либо вмешательства [1]. Развитие концепции «Интернет вещей» произошло благодаря широкому распространению беспроводных сетей, смартфонов, ноутбуков.

Применение устройств из категории «Интернет вещей» также получило распространение и в производстве. Получили развитие и широкое применение системы удаленного мониторинга с различными возможностями, требуемыми в конкретной отрасли.

Устройства из категории «Интернет вещей» можно найти и в ювелирном производстве. Так, появились устройства, способные точно и быстро вырезать необходимые заготовки из ювелирного воска по загруженным удаленно с ноутбука 3D моделям, лазерные установки, способные как выжигать сложные элементы на металле, так и прожигать его. Также существуют контролеры для работы с муфельными печами. Данные устройства позволяют отслеживать и корректировать температуру внутри рабочей зоны.

Муфельные печи появились в конце XVII - начале XVIII вв. и представляли собой контейнер (муфель), устойчивый к высоким температурам и обеспечивающий сохранение тепла внутри. С увеличением масштабов производства необходимость в таких устройствах значительно возросла.

В современном мире муфельные печи получили системы контроля температуры и времени работы. На рынке представлен широкий ассортимент систем мониторинга, таких как механические контролеры температуры печи, автоматические регуляторы муфельной печи.

На данный момент, однако, не существует гибко настраиваемых систем мониторинга для муфельных печей с возможностью дистанционного управления через WEB-интерфейс.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка системы мониторинга технологического процесса со следующим функционалом: поддержание определенной температуры в течении установленного

периода времени (так называемых «температурных полок»), сбор, хранение и показ статистики о температуре и времени ее поддержания при работе устройства, удаленное задание параметров технологического процесса.

Для реализации данной цели было необходимо решить следующие задачи:

- изучить общие положения концепции «Интернет вещей»;
- изучить представленные на рынке системы мониторинга для муфельных печей;
- разработать конструкцию муфельной печи, адаптированную для работы с разрабатываемой системой мониторинга;
- изучить электронные компоненты, предназначенные для работы в непрерывном режиме;
- реализовать электронную составляющую системы мониторинга для муфельных печей;
- разработать и реализовать клиентскую и серверную части приложения;

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**1. Общие сведения о предметной области.** «Интернет вещей» (англ. Internet of things, IoT) – концепция объединения различных устройств посредством информационных технологий. Устройства могут обмениваться информацией как при участии человека, так и без какого-либо вмешательства [1]. Развитие концепции «Интернет вещей» произошло благодаря широкому распространению беспроводных сетей, смартфонов, ноутбуков.

Одним из главных направлений в развитии «Интернет вещей» можно считать Промышленный «Интернет вещей». Это система компьютерных сетей и подключенных к ним производственных объектов с различными встроенными датчиками и специализированным программным обеспечением, позволяющим не только собирать и анализировать данные, но и удаленно управлять устройствами. Также в таких системах может использоваться полностью автоматическое управление без участия человека.

При внедрении концепции Промышленного «Интернета вещей» на оборудование устанавливаются различные датчики, управляемые электронно механизмы, контроллеры и различные интерфейсы для взаимодействия человека с машинами. В результате появляется возможность собирать и анализировать получаемые данные. Обработанные данные поступают на сервера, откуда доступны для просмотра и анализа уже людьми.

Такой сбор данных помогает предотвращать внеплановые простои, поломки оборудования, сбои в управлении, тем самым позволяя предприятию функционировать более эффективно.

Уже сейчас появляются различные цифровые экосистемы, которые позволяют предприятиям объединять различные участки рынка, что в свою очередь позволяет комплексно подходить к анализу и грамотнее распределять производственные ресурсы.

Изготовление ювелирных изделий известно с древнейших времен во всем мире. В СССР ювелирная промышленность как специализированная отрасль промышленности была организована в 1966. В единую систему были объединены предприятия различных ведомств, выпускающие ювелирные изделия.

В ювелирной промышленности важное место занимают муфельные печи. Для понимания сферы использования муфельных печей опишем процесс

создания ювелирного изделия сложной формы:

- из воска создается модель будущего ювелирного изделия;
- формируется форма из гипса, включающая в себе восковую модель;
- далее, форма из гипса ставится в муфельную печь на 9 часов, с настроенными температурными режимами, для плавного выхода скопившейся влаги и подготовки формы к заливке металла;
- после 9 часов достается форма и заливается подготовленным металлом;
- после достается металлическая заготовка и обрабатывается до требуемого вида;

Базовой функцией для каждой системы мониторинга для муфельных печей можно считать поддержание определенной температуры в течение заданного времени. Все описанные ниже системы способны удерживать так называемые температурные полки, но отличаются количеством их установок.

На рынке существует несколько видов систем мониторинга для муфельных печей:

- механический контроллер температуры печи;
- автоматический регулятор муфельной печи;
- Пропорционально-интегрально-дифференцирующий(ПИД) контроллер-программатор для муфельной печи.

Для реализации цели выпускной квалификационной работы было принято решение использовать одноплатный микрокомпьютер, подходящий для реализации концепции системы мониторинга для муфельных печей.

**2. Сведения о конфигурации системы мониторинга технологического процесса.** Система мониторинга технологического процесса для муфельных печей состоит из:

- Одноплатного компьютера Orange Pi One. Имеет четырех-ядерный процессор Cortex-A7 с частотой 1.2ГГц, видео ядро Mali 400MP2 (600 МГц). В Orange Pi One доступно 512 МБ DDR3 ОЗУ. С каждой стороны платы находится по чипу производства Samsung объемом по 256 МБ. Данный одноплатный микрокомпьютер имеет слот карты памяти, поддерживаемый до 64 Гб, используемый в качестве основной памяти. Есть порт Ethernet со скоростью до 100 Мб/с [3]. Главной особенностью одноплатных компьютеров является наличие 40 пинов, которыми можно программно управлять, что и было использовано в дальнейшем.

Orange Pi One поддерживает широкий набор операционных систем, таких как: Android, Ubuntu, Armbian, ArchLinux, Gentoo, OpenSUSE, Kali, Fedora, Raspberry Pi Image. Мною была выбрана операционная система Armbian, так как данная ОС отличается быстротой работы и возможностью взаимодействия с GPIO пинами;

- Твердотельного реле SSR-25DA – полупроводниковое реле, предназначенное для бесконтактной коммутации осветительных приборов, нагревательных элементов и других устройств с переменным напряжением питания от 24 до 480 В. Данный прибор не требует пайки, так как имеет винтовые разъемы для подключения проводов. Твердотельные реле имеют много преимуществ перед электромеханическими реле: низкий уровень помех за счет встроенного детектора нуля, возможность управлять напрямую с выводов контроллера, гораздо больший эксплуатационный ресурс, высокое быстродействие, отсутствие механической контактной группы, бесшумность, небольшие размеры, гальваническая развязка от управляющей цепи и высокая надежность. Из удобств стоит отметить возможность подключения без паяльника, так как все разъемы выполнены под винтовой зажим. Реле SSR можно без опасения подключать напрямую к выводам микроконтроллеров и одноплатных компьютеров, так как в этом электронном реле есть гальваническая развязка с силовым блоком.

Данное реле было использовано в выпускной квалификационной работе для взаимодействия с нагревательным элементом внутри муфельной печи. Оно выполняет функцию отключения и включения тока внутри цепи.;

- Термопары К-типа и модуля аналого-цифрового преобразования MAX6675. Термопара К-типа представляет собой соединение из хромеля (сплава хрома и никеля с примесями кремния, меди, марганца, кобальта) и алюминия. Принцип действия термопары основан на том, что нагревание или охлаждение контактов между проводниками, отличающимися химическими или физическими свойствами, сопровождается возникновением термоэлектродвижущей силы. Данный вид термопар предназначен для замера температур до 1000 градусов. Выходным сигналом сенсора К-типа служит постоянное напряжение, пропорционально зависящее от

температуры в точке состыковки контактов термопары. Так как выходные сигналы термопары аналоговые, было принято решение использовать аналого-цифровой преобразователь MAX6675 с компенсацией холодного спая.

На модуле MAX6675 установлена одна микросхема MAX6675ISA фирмы Maxim Integrated Products. Микросхема имеет 12-битный АЦП, SPI интерфейс. Точность вычислений составляет 0,25 градусов.

- Дисплея I2C 1602 LCD – это жидкокристаллический текстовый двухстрочный (16 знакомест в каждой строке) цифровой I2C индикатор с подсветкой. Каждое знакоместо имеет разрешение 8x5 точек. Общее количество точек экрана – 1280 пикселей. В память устройства встроено 192 знака, еще 8 знаков может определить сам пользователь. Дисплей основан на контроллере HD44780 и предназначен для отображения любой текстовой информации. Благодаря дополнительно установленному I2C модулю расширения портов на микросхеме PCF85741, дисплей стал занимать гораздо меньше портов управления GPIO на одноплатном микрокомпьютере Orange Pi One.

**3. Теоретические сведения об используемых в разработке технологиях.** В реализованной версии системы мониторинга технологического процесса клиентской частью приложения является WEB-интерфейс, написанный на языках HTML и JavaScript. Для серверной части приложения был использован язык Python. Обе части приложения находятся на одноплатном микрокомпьютере Orange Pi One. Клиентская часть позволяет как наблюдать за процессами, происходящими внутри муфельной печи, на расстоянии, так и настраивать температурные режимы. Серверная часть отвечает за обработку запросов, происходящих на клиентской части приложения, и своевременное взаимодействие с электрическими составляющими системы.

В серверной части приложения используются следующие технологии:

- Python – высокоуровневый язык программирования общего назначения с динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью. Данный язык ориентирован на повышение читаемости кода и качества его написания. Python является объектно-ориентированным языком [5];
- Протокол SPI (Serial Peripheral Interface) – последовательный периферий-

ный протокол обмена данными. Он предназначен для связи микроконтроллеров между собой, микроконтроллеров и периферийных устройств. В данной выпускной квалификационной работе бакалавра протокол SPI был использован для взаимодействия с аналого-цифровым преобразователем MAX6675, для считывания температуры с термопары. Использование протокола SPI обусловлено технологическими особенностями данного устройства;

— Протокол I2C (Inter-Integrate Circuit) - последовательная шина данных для связи различных интегральных схем. Данный протокол использует двунаправленные линии связи SDA и SCL для соединения низкоскоростных периферийных компонентов с микроконтроллером. В данной выпускной квалификационной работе использование протокола I2C было связано с тем, что дисплей I2C 1602 LCD взаимодействует с одноплатным контроллером посредством данного протокола;

— Библиотека Flask – фреймворк для создания WEB-приложений на языке Python. Flask отличается от других фреймворков тем, что позволяет разработчикам полностью контролировать свои приложения. Он поставляется с ядром, которое включает в себя весь необходимый функционал для работы WEB-приложений [7]. Данная библиотека была использована в выпускной квалификационной работе для создания WEB-сервера;

В клиентской части приложения используются следующие технологии:

— HTML CSS – в выпускной квалификационной работе были использованы язык разметки(HTML) и язык стилей(CSS) для создания WEB-страниц;

— JavaScript – данный язык применяется в реализации сценариев WEB-страниц, таких как отправление запросов на сервер, обработка и вывод принимаемых данных с сервера.

**4. Разработка приложения.** WEB-сервер был разработан на языке программирования Python. При разработке использовались библиотеки Flask – для создания WEB-сервера, smbus – для работы с дисплеем I2C 1602a LCD посредством шины I2C, spidev – для работы с аналого-цифровым преобразователем MAX6675 посредством шины SPI, time – для корректной работы с временем, pyA20 – для работы с выходами GPIO.

Клиентская часть приложения состоит из трех HTML страниц: «Начальная страница», отображающая навигацию по другим страницам и текущую



температуру, «Страница текущего состояния», отображающая график работы системы мониторинга, «Страница режимов работы», отображающая динамическую таблицу с функцией установки температурных режимов работы. Также на данной странице есть кнопка сохранения настроек и начала циклов прокаливания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были изучены основные положения концепции «Интернет вещей», с точки зрения их применимости для реализации системы мониторинга для муфельных печей.

Была разработана конструкция муфельной печи, адаптированная для работы с разрабатываемой системой мониторинга и обеспечивающая требования технологического процесса при подготовке литевых форм в ювелирном производстве.

Для создания WEB-приложения были разработаны требования к его клиентскому интерфейсу и функционал серверной части. Было создано WEB-приложение для удаленного мониторинга и работы с муфельной печью. Созданное приложение корректно работает на любых устройствах, поддерживающих возможность выхода в интернет при помощи браузера.

В ходе проверки работоспособности созданной системы мониторинга технологического процесса на протяжении двух месяцев использования не было выявлено критических отклонений в работе.

Работоспособность разработанной системы мониторинга для муфельных печей была проверена в ходе практической эксплуатации на протяжении двух месяцев. За это время было произведено прокаливание нескольких литевых форм удовлетворяющих требованиям технологического процесса и использованных далее по назначению.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Wiki IoT. Интернет вещей [Электронный ресурс]. URL: <https://iot.ru/wiki/internet-veshchey> (Дата обращения 25.01.2021).
- 2 Internet of Things (IoT) Trust Framework v2.5 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.internetsociety.org/resources/doc/2018/iot-trustframework-v2-5/> (Дата обращения 30.01.2021).
- 3 Orange Pi One – четырёхядерный мини-ПК [Электронный ресурс]. URL: <https://micro-pi.ru/orange-pi-one-ori-one-h3/> (Дата обращения 10.02.2021).
- 4 Introducing JSON [Электронный ресурс]. URL: <https://www.json.org> (Дата обращения 10.02.2021).
- 5 Python [Электронный ресурс]. URL: <https://www.python.org> (Дата обращения 12.02.2021).
- 6 Марк Лутц. Изучаем Python, 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 1280 с., ил.
- 7 Flask. Web development, one drop at a time [Электронный ресурс]. URL: <https://flask.palletsprojects.com/en/1.1.x/> (Дата обращения 13.02.2021).
- 8 Grinberg M. Flask Web Development. Developing web applications with Python – O'Reilly Media, 2014 – 258 p
- 9 pyA20 0.2.12 [Электронный ресурс]. URL: <https://pypi.org/project/pyA20/> (Дата обращения 15.02.2021).
- 10 Orange Pi. Guide. Quick Start [Электронный ресурс]. URL: <http://www.orangepi.org/quickstart/> (Дата обращения 16.02.2021).
- 11 Orange Pi. Resources. Downloads [Электронный ресурс]. URL: <http://www.orangepi.org/downloadresources/> (Дата обращения 16.02.2021).
- 12 Муфельная печь: история и современное применение. [Электронный ресурс]. URL: <https://ulabrus.ru/interesnyestati/interesnyefaktystranica12/mufelnayapechistoriyasovremennoeprimeneniye> (Дата обращения 16.02.2021).
- 13 Терморегуляторы для муфельных печей [Электронный ресурс]. URL: <https://labor-snol.ru/news/instrukciya-po-ispolzovaniyu-pid-termoregulyatora-dlya-mufelnoj-pechi> (Дата обращения 17.02.2021).

- 14 Нормализатор сигнала термодпары К-типа, max6675 [Электронный ресурс]. URL: <https://wiki.iarduino.ru/page/trema-max6675/> (Дата обращения 20.02.2021).
- 15 Архитектура клиент-сервер [Электронный ресурс]. URL: <https://sergeygavaga.gitbooks.io/kurs-lektsii-testirovanie-programnogo-obespecheni/content/lektsiya-6-ch1-arhitektura-klient-server.html> (Дата обращения 25.02.2021).
- 16 ОСНОВЫ РАБОТЫ ПРОТОКОЛА SPI [Электронный ресурс]. URL: <https://hubstub.ru/programming/62-osnovy-raboty-protokola-spi.html> (Дата обращения 28.02.2021).
- 17 Описание шины I2C [Электронный ресурс]. URL: <https://itt-ltd.com/reference/refi2c.html> (Дата обращения 04.03.2021).
- 18 Современный учебник JavaScript [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.javascript.ru/> (Дата обращения 09.03.2021).
- 19 Муфельная печь с программатором [Электронный ресурс]. URL: <https://firmmy.ru/mufelnaja-pech-s-programmatorom> (Дата обращения 11.03.2021).
- 20 Промышленный интернет вещей [Электронный ресурс]. URL: <https://firmmy.ru/mufelnaja-pech-s-programmatorom> (Дата обращения 11.03.2021).
- 21 Обзор LCD-дисплея 1602А [Электронный ресурс]. URL: <https://robotchip.ru/obzor-lcd-displeya-1602a/> (Дата обращения 20.03.2021).
- 22 JavaScript|MDN [Электронный ресурс]. URL: <https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/JavaScript> (Дата обращения 23.03.2021).