

УДК № F1XME

Регистрационный № F1XME

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой Электроники

\_\_\_\_\_ Барбашов В.М.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

ОТЧЁТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

СИСТЕМА ЗАДАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ИС ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
РАДИАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ОЯЧ  
(заключительный)

## РЕФЕРАТ

**Ключевые слова** АВТОМАТИЗАЦИЯ, РАДИАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ, КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ, МИКРОКОМПЬЮТЕРЫ

Отчет содержит 24 стр. 2 рис. 1 таблиц.

Целью работы является разработка автоматизированной системы и выявление наиболее оптимальных методик измерения параметров аналого-цифровых блоков сложно-функциональных СБИС при проведении радиационных испытаний.

Результаты, эффективность и область применения, выводы, основные конструктивные и технико-эксплуатационные характеристики.

Резюме факультативная информация?

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение . . . . .   | 6  |
| 1 Аналитический раздел . . . . .   | 7  |
| 2 Конструкторский раздел . . . . .   | 8  |
| 2.1 Определение способа удалённого доступа и подбор типа управляющего модуля . . . . . | 8  |
| 2.2 Подбор управляющего микрокомпьютера . . . . .                                      | 10 |
| 2.3 Выбор ОС и ПО . . . . .  | 10 |
| 2.4 Выбор библиотек Python . . . . .   | 12 |
| 3 Технологический раздел . . . . .   | 14 |
| 3.1 Архитектура приложения . . . . .   | 14 |
| 3.2 Настройка nginx и circuits . . . . .   | 14 |
| 3.3 Настройка автоматического запуска nginx и API backend . . . . .                    | 16 |
| 4 Экспериментальный раздел . . . . .   | 19 |
| 5 Организационно-экономический раздел . . . . .  | 20 |
| 6 Промышленная экология и безопасность . . . . .                                       | 21 |
| Заключение . . . . .   | 22 |
| Список использованных источников . . . . .   | 23 |
| А Сравнительные характеристики микрокомпьютеров . . . . .                              | 24 |

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Обратный прокси — тип прокси-сервера, который ретранслирует запросы клиентов из внешней сети на один или несколько серверов внутренней сети.

Одноплатный микрокомпьютер — маленький, относительно недорогой компьютер с микропроцессором в качестве CPU. «Одноплатный» означает, что микрокомпьютер реализован в виде одной печатной платы, без интегрированной периферии вроде клавиатуры либо экрана.

ТРИД — ПИД-регулятор температуры двухканальный ТРИД РТП322, разработанный ООО «Вектор-ПМ».

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями.

ОЯЧ — отдельные ядерные частицы.

ИС — интегральная схема.

ЯП — язык программирования.

СБИС — сверхбольшая интегральная схема.

ПО — программное обеспечение.

ОС — операционная система.

API — application programming interface — внешний интерфейс взаимодействия с приложением.

PyPI — Python Package Index — официальный репозиторий с библиотеками Python.

## ВВЕДЕНИЕ

Целью работы является разработка элементов автоматизированной системы и выявление наиболее оптимальных методик измерения параметров аналого-цифровых блоков сложно-функциональных СБИС при проведении радиационных испытаний. В настоящий момент контроль за температурой СБИС при проведении радиационных испытаний осуществляется посредством системы из находящихся в одном корпусе ПИД-регулятора ТРИД РТП322 и блока питания для нагревательных элементов, и находящихся вне корпуса нагревательных элементов совмещённых с измерительной термопарой. Настройка системы осуществляется вручную путём использования имеющейся у ТРИД лицевой панели, либо через подключённый по RS485 персональный компьютер с программой на ЯП LabVIEW.

Оба варианта управления не отличаются удобством: для использования лицевой панели необходимо находиться в месте проведения испытания, кроме того интерфейс из четырёх физических кнопок проигрывает по своим характеристикам (время задания параметра оператором, вероятность совершения ошибки оператором при задании параметра) возможному программному интерфейсу. Для использования персонального компьютера, подключённого по RS485 необходимо, чтобы указанный компьютер был размещён в месте проведения испытания и подключён к ТРИД. Указанный персональный компьютер может управляться удалённо, с использованием TeamViewer или аналогичного ПО.

Разрабатываемая автоматизированная система предполагает размещение управляющего модуля в одном корпусе с ПИД-регулятором.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Определение способа удалённого доступа и подбор управляющего модуля.
- Определение технологий, используемых для написания программного обеспечения управляющего модуля.
- Создание макета системы с размещённым управляющим модулем и необходимых дополнительных элементов (системы питания управляющего модуля, проводов для подключения управляющего модуля к ТРИД).
- Создание программного обеспечения, реализующего управление ТРИД.
- Проведение испытаний с использованием макета и устранение выявленных недостатков.
- FIXME

## 1 Аналитический раздел

## 2 Конструкторский раздел

### 2.1 Определение способа удалённого доступа и подбор типа управляющего модуля

Комплекс, в котором проходят испытания, имеет два основных физических разделённых модуля:

- место проведения испытаний, в котором находится камера для проведения испытаний и большая часть оборудования
- и операторская, в которой находятся компьютеры, предоставляющие доступ к оборудованию.

Между модулями присутствует связь в виде одноранговой локальной сети, доступен WiFi (IEEE 802.11a/b/g) и Ethernet (IEEE 802.3i/y/ab) в месте проведения испытаний. Возможность создания дополнительных способов связи посредством протягивания новых кабелей или установки собственных ретрансляторов для беспроводной связи не предусмотрена, так же отсутствует беспроводная связь с внешним миром.

FIXME ссылки на стандарты

В связи с характером радиационных испытаний нахождение человека в месте проведения испытаний является нарушением техники безопасности, поэтому необходимо осуществление удалённого управления. В указанных условиях единственным доступным способом удалённого управления является использование предоставляемой локальной сети, поэтому первым требованием к управляющему модулю является поддержка TCP/IP стека.

Выбор между подключением по WiFi и подключением по Ethernet определяется объёмом трафика между управляющим модулем и компьютером оператора, допустимой задержкой реакции системы на команды оператора и допустимой задержкой при передаче измеренных значений температуры. Рассмотрим этот вопрос подробнее:

- Объём трафика — для контроля за ходом испытаний достаточно раз в секунду снимать показания температурного сенсора с ТРИД и иногда присылать новые значения параметров. ТРИД поддерживает только 16-битовые целые, что даёт объём трафика от управляющего модуля не менее 32 бит в секунду. Установка параметров с определённым периодом не требуется, поэтому требования к сетевому подключению определяются не их объёмом, а только допустимой задержкой реакции на команды оператора.

- Допустимая задержка реакции системы на команды оператора — в связи с тем, что в ходе одного испытания не предполагается изменение параметров



системы, которое должно происходить между испытаниями, в отсутствие форс-мажорных обстоятельств вполне допустима задержка реакции на одну минуту. При необходимости срочного отключения нагрева данную операцию требуется осуществить не менее чем за секунду.

— Допустимая задержка при передаче измеренных значений температуры составляет половину секунды. Данные значения записываются в журнал испытаний и необходимы для соотнесения колебаний температуры с отказами системы.

FIXME найти или сделать исследование задержек WiFi и Ethernet сетей. Или как-нибудь поаккуратнее проигнорировать.

Как видно, при данных условиях возможно осуществление подключения как по WiFi сети, так и с использованием Ethernet. Однако подключение по WiFi сети облегчает процедуру сбора испытательного стенда, поэтому следующим требованием к управляющему модулю служит наличие возможности подключения по WiFi.

Также в связи с малыми объёмами трафика допустимо использование HTTP протокола и сериализация передаваемых данных не наиболее оптимальным, а наиболее удобным способом. Таким образом можно задействовать браузер для отображения интерфейса и взаимодействия с управляющим модулем, не тратя ресурсы на написание отдельного приложения.

ТРИД имеет единственный интерфейс подключения к управляющему модулю[1]: протокол modbus, работающий поверх UART через интерфейс RS485, что требует наличия RS485 у управляющего модуля. Также желательно наличие готовых библиотек для работы с modbus. В ходе исследования выяснилось, что ТРИД можно модифицировать для поддержки полнодуплексного UART по трём линиям: RX/TX/GND с высоким уровнем равным 5 В.

Таким образом, управляющий модуль должен соответствовать следующим требованиям:

- Помещаться в одном корпусе с ТРИД.
- Поддерживать TCP/IP.
- Поддерживать подключение по WiFi (802.11a/b/g) и Ethernet (802.3i/y/ab: 10/100/1000 Мбит/с по витой паре).
- Поддерживать UART/RS485 либо по RX/TX/GND (5В).
- Иметь достаточно ресурсов для работы Web-сервера.
- Иметь возможность отладки при неисправности сетевого подключения.

Наиболее простым способом удовлетворить все требования является использование одноплатного микрокомпьютера с USB портами и/или поддерж-

кой UART: ОС микрокомпьютера обеспечивает поддержку сетевых подключений и предоставляет простой доступ к UART, для использования UART/RS485 можно задействовать USB переходник, либо же модифицировать ТРИД.

## 2.2 Подбор управляющего микрокомпьютера

В соответствие с 2.1 управляющий микрокомпьютер должен

- Помещаться в один корпус с ТРИД.
- Блок питания для управляющего микрокомпьютера должен помещаться там же.
- Иметь интерфейс USB (host), либо UART с RX/TX/GND и высоким уровнем 5 В.
- Иметь интерфейсы WiFi (IEEE 802.11a/b/g) и Ethernet (IEEE 802.3i/y/ab).
- Иметь достаточно ресурсов для работы Web-сервера.
- Иметь возможность отладки при неисправности сетевого подключения.

Помимо этого желательно наличие хорошей официальной службы поддержки либо сообщества людей с опытом разработки устройств на основе выбранного микрокомпьютера; второе предпочтительнее т.к. доказывает жизнеспособность систем на основе данного микрокомпьютера.

В качестве кандидатов в управляющие микрокомпьютеры был рассмотрен ряд различных одноплатных микрокомпьютеров: см. таблицу А.1. Исходя из требований наиболее подходящими были признаны Orange Pi Zero, Pine A64 и Raspberry Pi 3: первые два отличаются минимальной стоимостью при достаточном количестве ресурсов, последний имеет наиболее широкое сообщество.

Вследствие этого желательно, чтобы создаваемое ПО могло быть с минимальными затратами адаптировано для всех трёх микрокомпьютеров.

## 2.3 Выбор ОС и ПО

В соответствие с 2.1 операционная система должна соответствовать следующим требованиям:

- Работать на выбранном микрокомпьютере.
- Потреблять минимальные ресурсы на собственные нужды.
- Поддерживать контроллер UART и предоставлять к нему доступ.
- Поддерживать TCP/IP, иметь возможность написания собственного сервера.
- Поддерживать удалённый доступ для отладки сервера и загрузки ПО.

— Поддерживать все три выбранных микрокомпьютера.

Согласно официальному сайту Raspberry Pi[2] единственной официально поддерживаемой ОС является Raspbian, однако существует возможность установки альтернативных ОС. Raspbian является дистрибутивом GNU/Linux, основанном на Debian, что позволяет предположить, что ПО под этот дистрибутив будет с минимальными модификациями работать в других дистрибутивах, основанных на Debian. Так как все три выбранных микрокомпьютера поддерживают либо Debian (Pine A64, Orange Pi Zero), либо Raspbian (Raspberry Pi 3, Orange Pi Zero), то Raspbian удовлетворяет всем требованиям и необходимость лишаться официальной поддержки отсутствует.

Raspbian поставляется в двух вариантах: большой образ с PIXEL и минимальный образ без графического интерфейса[3]. В связи с тем, что для отладки возможно использование удалённого доступа по ssh, в минимальном образе также доступен framebuffer, служащий заменой графическому интерфейсу для отладки системы при физическом доступе, а основным способом доступа к управляемой системе был выбран Web-интерфейс, то необходимость использования большого образа отсутствует.

Далее, к управляемой системе предполагается доступ одного оператора с одного компьютера в единицу времени. Требуется также параллельное автоматизированное снятие показаний температуры из программы на языке LabView на том же компьютере. Вследствие этого была выбрана следующая архитектура: непосредственно с локальной сетью связан nginx, предоставляющий статические файлы для работы web интерфейса, а также служащий в качестве обратного прокси для специальной программы, предоставляющей доступ к ТРИД (см. рисунок 2.1). «Специальная программа» представляет собой Web-сервер с API, основанным на JSON и может быть использована из LabView без взаимодействия с остальной частью Web-интерфейса.

В указанной конфигурации JSON был выбран из-за широкой поддержки в различных языках программирования, в том числе в браузере. Nginx представляет собой широко используемый и лёгкий в настройке Web-сервер[4].

Для написания API backend был выбран язык Python: в число библиотек под этот язык входят библиотеки для работы с последовательным интерфейсом, библиотеки для создания Web сервисов, а также библиотеки для работы с протоколом modbus. Помимо этого, язык имеет безопасную модель памяти и обеспечивает быструю разработку за счёт быстрогодействия конечной программы. Для случая, если быстроедействие недостаточно для нормальной работы, Python позволяет переписывать часть программы на других языках, поддерживающих те же соглашения

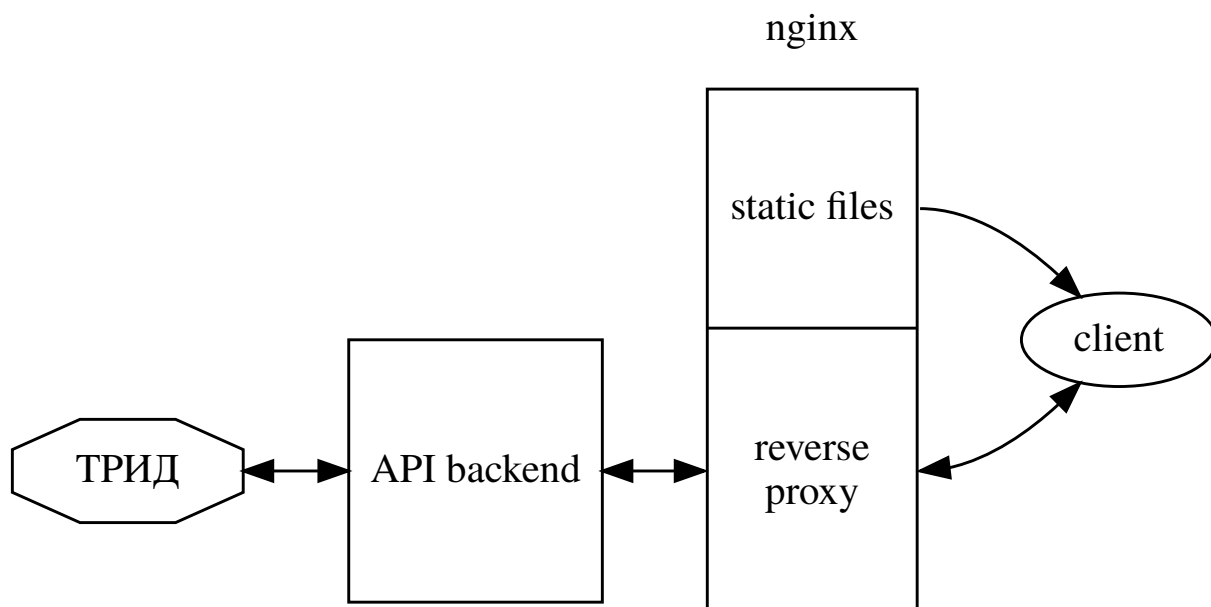


Рисунок 2.1 — Архитектура Web-сервиса

о вызове функций, что и С.

## 2.4 Выбор библиотек Python

Из предыдущего раздела видно, что для работы API backend требуются следующие библиотеки:

- Библиотека для работы с последовательным портом ввода-вывода.
- Библиотека для работы с протоколом modbus (поверх последовательного порта).
- Библиотека для сбора отладочной информации (создания журнала).
- Библиотека для создания Web сервиса.

В случае с библиотекой для работы с последовательным портом ввода-вывода есть фактически единственная альтернатива — pyserial[5], других развиваемых проектов данной тематики найти не удалось.

Протокол modbus поддерживается следующими библиотеками: MinimalModbus[6], pylibmodbus[7], modbus\_tk[8], pymodbus[9], uModbus[10]. Из них pylibmodbus была отброшена из-за требований наличия дополнительной библиотеки на С, длительного отсутствия обновлений и отсутствия документации. Modbus\_tk также отличалась отсутствием документации, а официальный пакет pymodbus в PyPI не поддерживается, хотя сама библиотека развивается[11]. Среди оставшихся MinimalModbus и uModbus первая была выбрана за более удобный интерфейс.

В качестве библиотеки для сбора отладочной информации оказалось возможным использовать часть стандартной библиотеки Python, предназначенную для этой цели. На nginx была дополнительно возложена обязанность предоставления создаваемых данной библиотекой журналов.

Среди библиотек, подходящих для создания Web интерфейса обнаружилось наибольшее разнообразие. Библиотека `circuits`[12] была выбрана из-за того, что для её использования требуется написать минимальное количество кода, а также отсутствие требований к файловой структуре проекта.

### 3 Технологический раздел

#### 3.1 Архитектура приложения

Как было показано в 2.3, приложение разбито на два основных модуля: nginx и API backend. В данном разделе будет рассмотрена только архитектура API backend, настройка nginx рассматривается отдельно в 3.2 а архитектура этой части тривиальна и фактически отображена на рисунке 2.1.

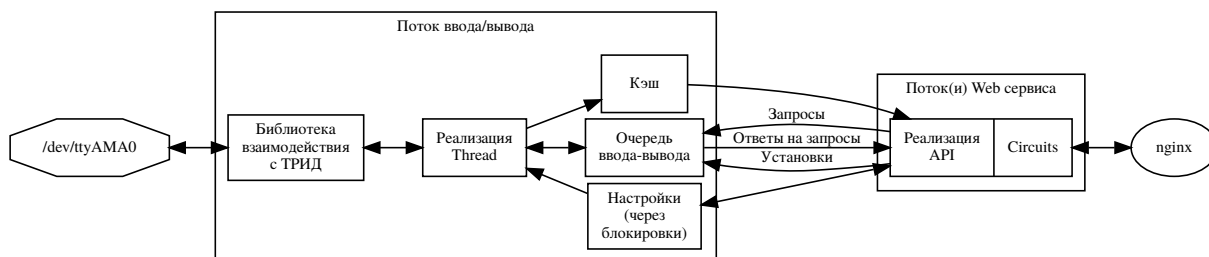


Рисунок 3.1 — Архитектура API backend

Архитектура API backend изображена на рис. 3.1. Всё приложение было разбито на три основных модуля: выделенная библиотека взаимодействия с ТРИД (используется внутри потока ввода-вывода), реализация потока ввода-вывода на основе классов из стандартной библиотеки Python — модуля **threading** и собственно реализации API на основе классов из библиотеки **circuits**.

Такая архитектура была создана из-за наличия только одной дуплексной линии связи с ТРИД: необходимо обеспечить строгую последовательность отправки запросов к ТРИД и получения ответов на случай прихода нового запроса от nginx во время обработки старого. Данную проблему можно решить, как минимум, на трёх уровнях: запретить nginx создавать более одного параллельного соединения к Web серверу, не использовать потоки при обработке запросов или работать с ТРИД исключительно через отдельный поток и очередь и/или блокировки. Третий вариант был выбран, из-за того, что существуют запросы, одновременная обработка которых безопасна. В основном это относится к запросам, получающим значения из кэша или настроек. Помимо этого поток ввода-вывода требуется, чтобы постоянно опрашивать ТРИД, узнавая показания температурного датчика; без отдельного потока эту задачу пришлось бы возложить на Web-интерфейс, что привело бы к его замедлению.

#### 3.2 Настройка nginx и circuits

В соответствие с рис. 2.1 nginx должен выполнять две функции: предоставлять доступ к статическим файлам (в них определяется весь Web-интерфейс)

и предоставлять доступ к API backend. Для этого достаточно небольшой конфигурации, показанной в листинге 1.

```
server {
    listen 80 default_server;
    listen [::]:80 default_server;

    root /var/www/html;

    index index.html;

    server_name _;

    location / {
        # First attempt to serve request as file, then
        # as directory, then fall back to displaying a 404.
        try_files $uri $uri/ =404;
    }

    location /api {
        proxy_pass http://127.0.0.1:20000;
    }
}
```

Листинг 1 — Настройка Nginx

Данный файл настроек помещается в каталог `/etc/nginx/sites-enabled` под именем **default**.

В нём nginx настроен слушать на порту 80 (IPv4 и IPv6), брать статические файлы из `/var/www/html` и перенаправлять запросы с путём `/api` (к примеру, `http://mypihost/api/trid/monitor/get`) серверу (API backend) на порту 20 000. Для этого приложение Circuits должно выглядеть соответственно листингу 2.

Здесь создаётся простое приложение — Web-сервер, слушающий на порту 20 000 и предоставляющий всего одну возможность — узнавать, сколько раз был вызван API метод `/api/dummy/increment`. Порт, на котором сервер будет слушать сервер определяется в аргументах **Server**, атрибут **channel** служит для определения префикса метода(ов), которые будет обслуживать класс. Таким образом, `/api/dummy/increment` будет обслуживаться классом с атрибутом **channel**,

равным `/api/dummy` и имеющим метод `increment`, который и будет вызван при запросе `/api/dummy/increment`. `application.run()` в самом конце файла запускает бесконечный цикл, ждущий и обрабатывающий запросы.

### 3.3 Настройка автоматического запуска nginx и API backend

Одной из особенностей разрабатываемой системы являются частые перезагрузки, поэтому весьма желательно запускать nginx и API backend автоматически при старте системы. Для выполнения этой задачи можно использовать возможности дистрибутива Raspbian, а именно систему инициализации systemd. Настройки, описывающие как система инициализации должна запускать nginx уже присутствуют в системе в качестве части пакета nginx, нужно только включить автозапуск: **`sudo systemctl enable nginx`**. Однако systemd не обладает информацией о способе запуска созданного API backend. Для исправления данной проблемы необходимо поместить в `/etc/systemd/system` файл `trid_site.service` с содержанием, указанным в листинге 3 и включить автозапуск: **`sudo systemctl enable trid_site`**.

Здесь указывается, что сервис (API backend) требует для работы nginx (**`Wants=nginx.service`**), а для работы сервиса нужно просто запустить `/usr/bin/python /var/www/trid_site/main.py` в каталоге `/var/www`. Образец того, как должен выглядеть `/var/www/trid_site/main.py` есть в листинге 2.



```

from circuits.web import Controller, Server

class DummyAPI(Controller):
    '''Entry point for dummy API

    Handles requests to /api/dummy.

    :param dict common_state: Some common state.
    '''
    channel = '/api/dummy'

    def __init__(self, common_state, *args, **kwargs):
        super(DummyAPI, self).__init__(*args, **kwargs)
        self.__common_state = common_state
        common_state['dummy_counter'] = 0

    def increment(self):
        '''/api/dummy/increment request handler'''
        common_state['dummy_counter'] += 1
        return str(common_state['dummy_counter'])

class API(Controller):
    '''API entry point, serves nginx /api requests
    '''
    channel = '/api'
    '''Specify that this works with /api.'''

    def __init__(self, *args, **kwargs):
        super(API, self).__init__(*args, **kwargs)
        common_state = {}
        self += DummyAPI(common_state)

if __name__ == '__main__':
    application = Server(('127.0.0.1', 20000)) + API()
    application.run()

```

```
[Unit]
Description=TRID API service
Wants=nginx.service
After=network.target

[Service]
Type=simple
ExecStart=/usr/bin/python /var/www/trid_site/main.py
PIDFile=/var/run/trid.pid
Restart=always
WorkingDirectory=/var/www

[Install]
WantedBy=multi-user.target
```

Листинг 3 — Настройка systemd

#### 4 Экспериментальный раздел

## 5 Организационно-экономический раздел



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ООО «Вектор-ПМ», Пермь. — ПИД-регулятор температуры двухканальный ТРИД РТП322, Руководство по эксплуатации ВПМ 421210.009-18 РЭ edition, 2012.
2. Raspberry Pi Downloads. — 2017. — February. — URL: <https://www.raspberrypi.org/downloads/>.
3. Raspberry Pi Downloads. — 2017. — February. — URL: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>.
4. Historical trends in the usage of web servers for websites. — 2017. — February. — URL: [https://w3techs.com/technologies/history\\_overview/web\\_server](https://w3techs.com/technologies/history_overview/web_server).
5. pyserial. — 2017. — March. — URL: <https://pypi.python.org/pypi/pyserial>.
6. MinimalModbus. — 2017. — March. — URL: <https://pypi.python.org/pypi/MinimalModbus>.
7. pylibmodbus. — 2017. — March. — URL: <https://pypi.python.org/pypi/pylibmodbus>.
8. modbus\_tk. — 2017. — March. — URL: [https://pypi.python.org/pypi/modbus\\_tk](https://pypi.python.org/pypi/modbus_tk).
9. pymodbus. — 2017. — March. — URL: <https://pypi.python.org/pypi/pymodbus>.
10. uModbus. — 2017. — March. — URL: <https://pypi.python.org/pypi/uModbus>.
11. pymodbus github repository. — 2017. — March. — URL: <https://github.com/bashwork/pymodbus>.
12. circuits. — 2017. — March. — URL: <https://pypi.python.org/pypi/circuits>.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А Сравнительные характеристики микрокомпьютеров

Таблица А.1 — Сравнительные характеристики микрокомпьютеров

| Название микрокомпьютера | Цена, руб. | USB, UART | WiFi, 802.11 <i>x</i> | Ethernet, <i>x</i> BASE-T | ОЗУ, МБ | Долговременная память, макс. | Размеры В×Ш, мм |
|--------------------------|------------|-----------|-----------------------|---------------------------|---------|------------------------------|-----------------|
| I                        | II         | III       | IV                    | V                         | VI      | VII                          | VIII            |
| ODROID-C2                | 4 500      | USB, UART | через USB             | 10/100/1000               | 2 048   | MicroSD/eMMC, 64 ГиБ         | 85×56           |
| Pine A64+                | 1 700      | USB, UART | b/g/n                 | 10/100/1000               | 2 048   | MicroSD, 256 ГиБ             | 133×80          |
| Pine A64                 | 1 000      | USB, UART | b/g/n                 | 10/100                    | 512     | MicroSD, 256 ГиБ             | 133×80          |
| BeagleBone Black Rev C   | 3 400      | USB, UART | b/g/n <sup>1</sup>    | 10/100                    | 512     | eMMC, 4 ГиБ                  | 88×55           |
| Banana Pi BPI-M1+        | 2 400      | USB, UART | b/g/n                 | 10/100/1000               | 1 024   | MicroSD/SATA, 2 ТиБ          | 92×60           |
| Intel Galileo Gen2       | 2 900      | USB, UART | через USB             | 10/100                    | 256     | MicroSD, 32 ГиБ              | 124×72          |
| Orange Pi Zero           | 1 000      | USB, UART | b/g/n                 | 10/100                    | 256     | TF/MMC, 64 ГиБ               | 48×46           |
| Raspberry Pi 3           | 2 400      | USB, UART | n                     | 10/100                    | 1 024   | MicroSD, 64 ГиБ              | 85×56           |
| MB77.07                  | 4 800      | USB, UART | через USB             | 10/100                    | 256     | встроенная                   | 80×80           |

<sup>1</sup>Вместо Ethernet: микрокомпьютер может поставляться с Ethernet или WiFi, но не и с тем, и с другим.