

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**  
**Некоммерческое акционерное общество**  
**АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ**  
**имени Гумарбека Даукеева**

Кафедра «Телекоммуникационные сети и системы»

Специальность: 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Зав. кафедрой  
PhD, доцент Темырканова Э.К.  
(ученая степень, звание, ФИО)

\_\_\_\_\_ (подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**  
**пояснительная записка**

на тему: «Исследование технологий для построения аппаратной платформы контроллера IoT»

Магистрант: Монтин А. М. \_\_\_\_\_ группа МРЭТн 18-2  
(Ф.И.О.) (подпись)

Руководитель: к.т.н., профессор АУЭС \_\_\_\_\_ Лещинская Э. М.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Рецензент \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Консультант по ВТ к.т.н., профессор АУЭС \_\_\_\_\_ Лещинская Э. М.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Нормоконтроль: к.т.н., профессор АУЭС \_\_\_\_\_ Лещинская Э. М.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Алматы 2020

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**  
**Некоммерческое акционерное общество**  
**АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ**  
**имени Гумарбека Даукеева**

Институт Космической Инженерии и Телекоммуникаций

Специальность: 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Кафедра: «Телекоммуникационные сети и системы»

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Монтину Амангали Маратбековичу

Тема диссертации «Исследование технологий для построения аппаратной платформы контроллера IoT»

Утверждена Ученым советом университета № 122 от «25» октября 2018г.  
Срок сдачи законченной диссертации «25» мая 2020г.

Цель исследования состоит в разработке варианта серверной машины низкой себестоимости при помощи программного обеспечения с открытым исходным кодом для потенциального построения гибкой системы с возможностью перенастройки в кратчайшие сроки, а также интеграцией с различным проприетарным и свободным ПО

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

1. Формирование требований и критериев к аппаратной платформе контроллера IoT
2. Сравнительный анализ технологий для аппаратной платформы контроллера IoT
3. Выбор платформы на основе сравнения
4. Реализация имитационной модели серверной машины на базе выбранной модели

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Перспективы развития технологии IoT
2. Области применения IoT

3. Функциональные возможности IoT
4. Сравнение операционных систем
5. Настройка удалённого подключения
6. Схема подключения датчиков температуры
7. Результаты записи в базу данных
8. Графики записи данных в течении получаса и года

Рекомендуемая основная литература

1. Тихвинский В.О., Бочечка Г.С., Нургожин Б.И., Айтмагамбетов А.З. Сети IoT/M2M: технологии, приложения и регулирование – Алматы: «Ак-Шагыл», 2016.
2. Перри Ли. Архитектура интернета вещей – Москва: «ДМК-Пресс», 2019

**Г Р А Ф И К**  
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Информационный обзор согласно теме	01.02.2019	
2. Формирование требований и критериев к аппаратной платформе контроллера IoT	01.06.2019	
3. Сравнительный анализ технологий	01.11.2019	
4. Выбор платформы на основе сравнения	01.03.2020	
5. Реализация имитационной модели серверной машины	01.05.2020	

Дата выдачи задания 30 сентября 2018г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ (Темырканова Э.К.)  
(подпись) (Ф.И.О.)

Научный  
руководитель диссертации \_\_\_\_\_ (Лещинская Э. М.)  
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению  
магистрант \_\_\_\_\_ (Монтин А. М.)  
(подпись) (Ф.И.О.)

## **Андатпа**

Осы магистрлік диссертацияда IoT жабдықтық платформасын құру технологиясына қазіргі уақытта әзірленген жабдықтық және бағдарламалық шешімдер негізінде зерттеулер жүргізіледі. Қазіргі уақытта бар жабдықтық платформаларға анализ жүргізілген және осы анализ негізінде ең арзан функцияналды жабдықтық платформа таңдалды. Платформа жадысында сақталу уақытын болжау үшін деректер базасындағы мүмкін максималды жазбалар санына есептеулер жүргізілді. Нәтижесінде, мини-компьютерлер өндірушісінің нақты үлгісі және кең функцияналы бар операциялық жүйесі ұсынылды, бұл зерттеу жүргізу үшін еліктеуші үлгі құруға мүмкіндік берді.

## **Аннотация**

В данной магистерской диссертации выполнено исследование технологий для построения аппаратной платформы контроллера IoT на базе реализованных в настоящее время аппаратных и программных решений. Проведён анализ существующих аппаратных платформ, на основе которого была выбрана функциональная аппаратная платформа наиболее низкой стоимости. Приведены расчёты максимально возможного количества записей в базе данных для прогноза о времени хранения данных в памяти платформы. Предложены конкретная модель производителя мини-компьютеров и операционная система, имеющая большой функционал, что позволило создать имитационную модель для проведения исследования.

## **Abstract**

This master's thesis studies technology for building the IoT controller hardware platform based on currently implemented hardware and software solutions. The analysis of the existing hardware platforms is carried out, on the basis of which the functional hardware platform of the lowest cost was selected. Calculations of the maximum possible number of records in the database for predicting the storage time of data in the platform's memory are given. A specific model of the manufacturer of mini-computers and an operating system with great functionality are proposed, which made it possible to create a simulation model for the study.

## Содержание

Введение.....	6
1 Анализ состояние вопроса и постановка задачи исследования.....	7
1.1 Концепция Интернета вещей.....	7
1.2 Техническая и коммерческая платформа для IoT.....	11
1.3 Встраиваемые системы в экосистеме Интернета вещей.....	13
1.4 Технические проблемы развития.....	13
1.5 Бизнес-модели для внедрения IoT.....	14
1.6 Сотрудничество производителей встраиваемых решений и разработчиков ПО.....	14
1.7 Развитие IoT в Казахстане.....	18
1.8 Постановка задачи исследования.....	24
2 Анализ современных платформ контроллеров.....	25
2.1 Основные критерии выбора платформы контроллера.....	25
2.2 Микроконтроллеры торговой марки Arduino.....	27
2.3 Одноплатный компьютер Raspberry Pi.....	30
2.4 Аппаратная платформа Intel Galileo.....	32
2.5 Аппаратная платформа Tibbo Project System.....	35
2.6 Аппаратная платформа Orange Pi PC.....	36
3 Создание имитационной модели для проведения исследования.....	41
3.1 Аппаратная часть.....	41
3.2 Операционная система.....	45
3.3 Подготовка к работе.....	47
3.4 Подключение датчика температуры DS18B20 и анализатора газов MQ-135.....	48
3.5 Установка и настройка веб-сервера Apache HTTP Server 2.4.29....	60
3.6 Расчёт максимально возможного количества записей с датчиков в базу данных MySQL.....	67
Заключение.....	71
Список использованной литературы.....	72
Приложение Справка Антиплагиата	

## **Введение**

С момента появления термина «Интернет вещей» сети, состоящие из большого количества устройств, общающихся между собой, стремительно развиваются. Вследствие этого, IoT (Internet of Things) становится одной из основных технологий в современном обществе. С точки зрения технологических и технических аспектов развития IoT в настоящее время существует большое количество различных аппаратных платформ для подключения устройств. Платформы IoT позволяют осуществить бесшовную интеграцию различных аппаратных средств при помощи протоколов связи, используя разнообразные типы топологии (прямое подключение или шлюз).

Используя различное программное обеспечение, появляется возможность передавать собранные данные IoT в определенные системы анализа и хранения данных или хранить их непосредственно в памяти платформы, а также передавать данные на подключенные устройства (конфигурация, уведомления) или между ними (элементы управления, события), используя различные виды средств разработки. Платформы применяются поставщиками и производителями умных устройств для оснащения своих продуктов возможностями дистанционного управления, мониторинга в режиме реального времени, настраивания предупреждений и уведомлений, интеграции со смартфонами и другими устройствами. Платформа нужна для того, чтобы обеспечить управление устройствами IoT-сети всех уровней и съём данных с датчиков, хранение этой информации и её дальнейшую обработку, а также предоставление услуг частным и государственным компаниям, конечным клиентам.

Актуальность исследования технологий построения платформ IoT, определяется тем, что одним из главных научно-технологических направлений четвертой промышленной революции является эволюция интернета, которая предполагает дальнейшее развитие концепции распределенных сетей и включение в инфраструктуру новых классов объектов интернета вещей, суть которого заключается в цифровизации различных предметов и включении их в единую сеть. Такие системы и сети оказывают преобразующее воздействие на все сектора современной экономики и бизнеса.

Новизна выполненной работы состоит в том, что предложена платформа контроллера IoT, отличающаяся более низкой стоимостью в сравнении с существующими готовыми решениями от различных производителей, обладающая необходимой гибкостью настроек и конфигураций для подключения к сторонним системам и проектам, что позволит повысить качество систем мониторинга и количество подконтрольного оборудования.

## **1 Анализ состояния вопроса и постановка задачи исследования**

## 1.1 Концепция Интернета вещей

Интернет вещей (IoT, Internet of Things) — методология вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, рассматривающая организацию таких сетей как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, исключая из части действий и операций необходимость участия человека.

В основе интернета вещей лежит технология межмашинного взаимодействия (M2M), когда машины с помощью мобильных сетей обмениваются информацией между собой или передают ее в одностороннем порядке. Технология M2M используется в системах здравоохранения и безопасности, в производстве, ЖКХ, энергетике, в банковских системах.

Понятия M2M и IoT имеют разные значения. Большинство экспертов считают, что Интернет вещей является более широкой концепцией, которая будет развиваться из M2M и других технологий. Проще говоря, M2M – это ситуация, когда "машины" используют сетевые ресурсы для связи с инфраструктурой удаленного приложения для целей контроля и управления либо самой "машиной", либо окружающей средой. Потенциальная взаимосвязь интеллектуальных объектов и то, как мы взаимодействуем с окружающей средой – это то, что представляет собой «Интернет вещей», где физический мир будет сливаться с цифровым миром.

В настоящее время существует возможность идентифицировать оборудование, предметы быта и виртуальные объекты (например, цифровые фотографии) таким же образом, как и отдельных пользователей в Интернете людей. Таким образом, вещи могут быть интегрированы в широкую сеть взаимосвязей, в которой они взаимодействуют друг с другом или с людьми. По сути, вещи в мире IoT находятся теперь на одном уровне с людьми.

Международным союзом электросвязи (МСЭ) «Измерение информационного общества» IoT определяется как «глобальная инфраструктура информационного общества, лежащая в основе динамично развивающейся сети физических объектов или устройств, имеющих IP-адрес для возможности установления соединения с Интернетом, а также связь, имеющая место между такими объектами и системами, что делает возможным их применение на основе Интернета» [1].

Число объектов, которые могут быть частью IoT, значительно превышает количество людей. Число подключенных к Интернету устройств на начало текущего года составляло 8 млрд, т. е. 6,58 устройств на одного человека из числа интернет-пользователей. С каждым годом число устройств, соединенных IoT, постоянно увеличивается. К таким вещам относятся, например, устройства подвижной связи, парковочные счетчики, термостаты, кардиомониторы, автопокрышки, дороги, автомобили, полки супермаркетов и даже крупный рогатый скот [2].

Наиболее важными отличиями Интернета вещей от существующего Интернета людей являются:

- акцентирование на вещах, а не на человеке;
- существенно большее число подключенных объектов;
- существенно меньшие размеры объектов и невысокие скорости передачи данных;
- акцентирование на считывании информации, а не на коммуникациях;
- необходимость создания новой инфраструктуры и альтернативных стандартов [3].

Интернет вещей основывается на трех базовых принципах: повсеместно распространенной коммуникационной инфраструктуре, глобальной идентификации каждого объекта, возможности объекта отправлять и получать данные посредством персональной сети или Интернета. Данную концепцию связывают, как правило, с развитием двух технологий: радиочастотной идентификации и беспроводных сенсорных сетей (БСС).

IoT находит применение во множестве отраслей экономики, специализированных процессах и повседневной жизни. Его ценность в основном заключается в создании, обработке и анализе новых данных. Во всем мире в результате работы миллиардов устройств появляются большие объемы данных. Доля данных, созданных человеком, таких как текстовая информация и данные социальных медиа, в общей структуре больших объемов, данных постоянно сокращается в связи с тем, что многие устройства в области IoT генерируют машинные данные, обмениваясь ими с другими устройствами, и все это происходит без вмешательства человека [1].

Предполагается, что в будущем «вещи» станут активными участниками бизнеса, информационных и социальных процессов, где они смогут взаимодействовать и общаться между собой, обмениваясь информацией об окружающей среде, реагируя и влияя на процессы, происходящие в окружающем мире, без вмешательства человека. Иными словами, Интернет вещей можно рассматривать как сеть сетей, в которой небольшие малосвязанные сети образуют более крупные.

Интернет вещей позволяет создавать комбинацию из интеллектуальных устройств (например, различного рода средства дистанционного сбора данных и роботы), объединенных мультипротокольными сетями связи, и людей-операторов. Совместно они могут создавать системы для работы в средах, неудобных или недоступных для человека: космос, большие глубины, ядерные установки, трубопроводы и т.п. Объединение различных вещей в сочетании с творческими возможностями приносит качественно новые результаты. Интернет вещей не только находит применение во множестве отраслей экономики, науки, производства, специализированных процессах и повседневной жизни, но и предоставляет новые мощные возможности для развития глобальной науки и международной коллаборации.

Интернет вещей (IoT) состоит из слабо связанных между собою разрозненных сетей, представленных на рисунке 1.1, каждая из которых была



развернута для решения своих специфических задач. К примеру, в современных автомобилях работают сразу несколько сетей: одна управляет работой двигателя, другая — системами безопасности, третья поддерживает связь и т.д. В офисных и жилых зданиях также устанавливается множество сетей для управления отоплением, вентиляцией, кондиционированием, телефонной связью, безопасностью, освещением.



Рисунок 1.1 – Сети IoT

По мере развития Интернета вещей эти и многие другие сети будут подключаться друг к другу и приобретать все более широкие возможности в сфере безопасности, аналитики и управления (рисунок 1.2). В результате Интернет вещей приобретет дополнительные возможности открыть человечеству новые, более широкие перспективы [4].

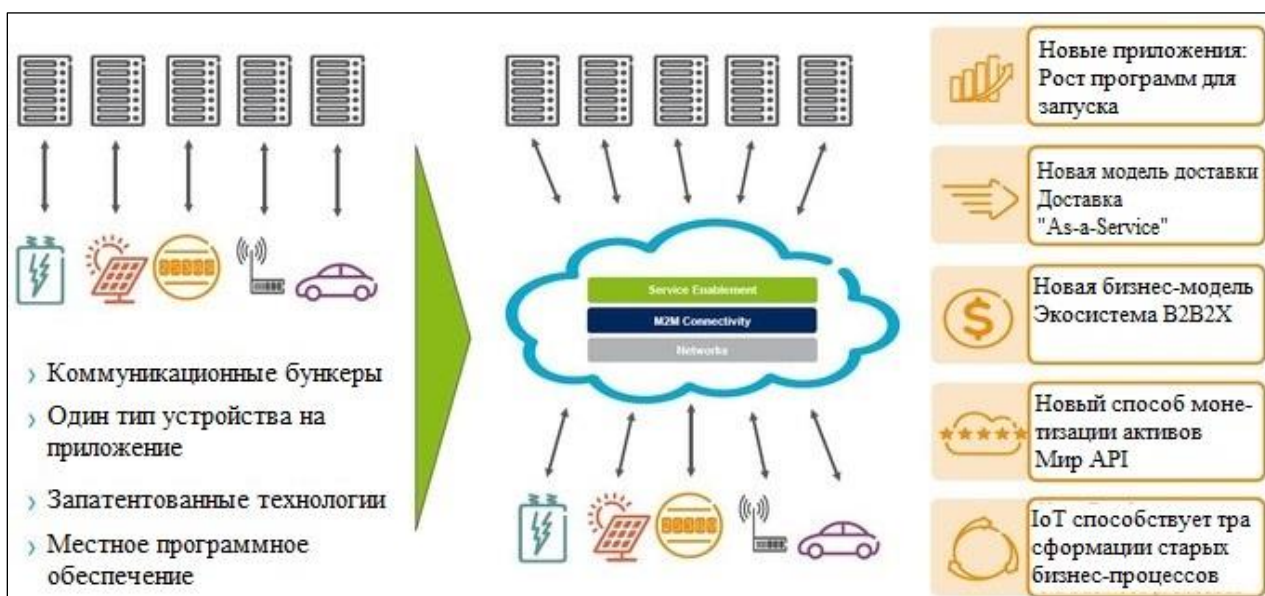


Рисунок 1.2 – Применение технологий IoT

По данным мировых аналитиков, в использовании технологий Интернета вещей компании ориентируются в первую очередь на массовые сегменты IoT, где побуждением конечных пользователей к использованию решений и сервисов IoT являются следующие рыночные стимулы:

1) умный дом:

- решения для создания интеллектуальных сервисов безопасности;
- решения для создания интеллектуальных сервисов оптимизации использования ресурсов домохозяйствами.

В умном доме система орошения сада может контролировать и орошать растения с возможностью подключения и управления системой через мобильное приложение. В более сложном варианте система полива будет подключена к утилите водоснабжения и будет использовать интеллектуальные облачные сервисы для объединения прогноза погоды и цен за водоснабжение, чтобы минимизировать затраты. Во времена засухи система может уделять первоочередное внимание более ценным растениям для использования ограниченного водоснабжения.

В настоящее время домовладельцы могут получить умный дом за вполне умеренную цену, включая смарт плагин и приложение. Однако нужно потратить дополнительно некоторую сумму, чтобы получить действительно умный дом, включая виртуального персонального помощника (VPA), интеллектуальный комплект освещения, дверные и оконные датчики, интеллектуальные замки и камеры.

Также необходимо учитывать, что чем больше в доме «Интернет вещей», тем больше вероятность использования нескольких приложений для всей системы умного дома. Промышленность продвигается к дальнейшей интеграции с экосистемой API, и растет число подключенных домашних хабов, которые помогают пользователям применять интегрированную систему [5].

2) умный транспорт:

- сервисы класса fleet management для индивидуальных перевозчиков (аналог Uber для грузового транспорта);
- сервисы UBI-страхования;
- сервисы технического обслуживания по фактическому состоянию.

Некоторые из самых ранних автономных грузовиков, вероятно, будут использованы на длинных автомобильных дорогах, так как технологии на сегодня лучше всего подходят для менее загруженных дорог за пределами городов, а не навигации по занятым городским улицам, где больше правил, вариантов маршрута и более сложные маневры.

Автономные транспортные средства для транспортировок уже существуют, но они не доступны для использования на общих дорогах ввиду многих недоработок.

Текущее состояние развития автономного транспортного средства все еще немного раздроблено - производители автомобилей, крупные поставщики технологий, компании по производству электронных комплектующих соперничают, что приводит к отсутствию единых стандартов [5].

3) торговля и финансовые услуги:

- решения для автоматической передачи и анализа данных с POS-терминалов, включая виртуальные;
- управление запасами домохозяйств как сервис.

Оказание услуг приобретает новый поворот в эпоху IoT, так как многие клиенты на самом деле могут выполнять функции людей. Электрический автомобиль может сам найти ближайшую зарядную станцию, зарезервировать место, зарядиться, а затем заплатить за предоставленные услуги компании-поставщику. Или посудомоечная машина при подходе к очередному техническому обслуживанию может сама запланировать данное обслуживание, позвонив от имени клиента и позже заплатив за оказанные услуги.

Вещи, становящиеся клиентами, коренным образом изменяют взаимоотношения поставщик/клиент во многих отраслях. «Интернет вещи» уже могут идентифицировать себя и даже найти себя. Благодаря средствам связи устройства будут иметь возможность общаться друг с другом, с клиентами и предприятиями. «Интернет вещи» облегчат жизнь, как на работе и вне работы, выполняя обычные задачи [5].

4) промышленный IoT-сегмент:

Перевод АСУ на принципы IoT: все производственные процессы будут подробно измерены и оптимизированы. Производство станет намного более надежным — системы мониторинга будут сообщать о проблемных участках до того, как они выйдут из строя. Уйдёт необходимость планового ремонта определённого оборудования в зависимости от количества изготовленного материала и т.д, так как появится возможность следить за состоянием определённых узлов и агрегатов, уменьшится вероятность незапланированных простоев.

## **1.2 Техническая и коммерческая платформа для IoT**

Успешная реализация решений на базе всеобъемлющего интернета – не изолированный и независимый процесс. Требуется техническая и коммерческая платформа, на которой можно будет легко выстраивать различные решения для рационального и эффективного достижения обещанных коммерческих преимуществ, как это показано на рисунке 3. В основе такой платформы интернета лежат надежная связь и технологическая инфраструктура, операционные и управленческие сервисы, а также ряд вертикальных и горизонтальных решений [4].

Для реализации решений на базе всеобъемлющего интернета все технические и коммерческие элементы должны обеспечивать нужный результат. Эффективное развертывание систем всеобъемлющего интернета обеспечит такую платформу для всего бизнеса или даже для всех отраслей, которая позволит реализовывать целый ряд уникальных прибыльных решений на базе IoT.

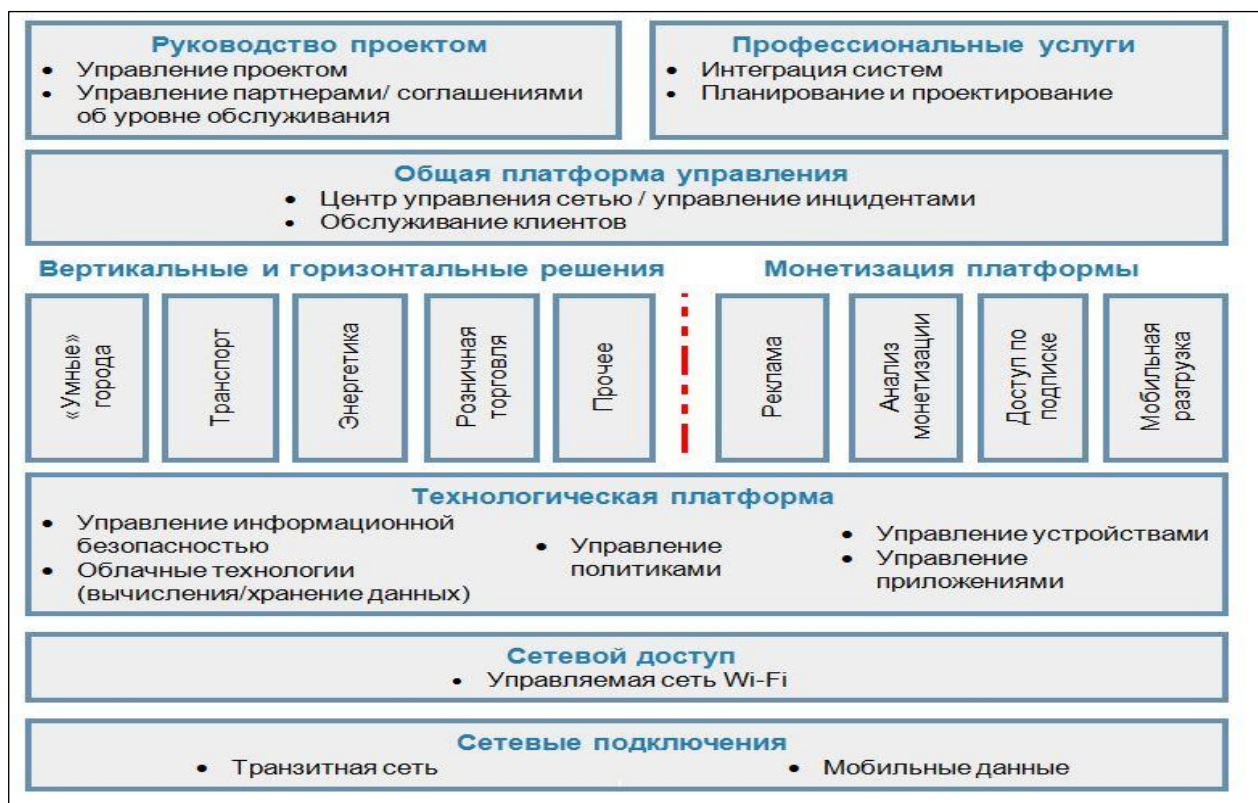


Рисунок 1.3 – Блок-схема платформы для IoT

Уровни, начиная с нижнего:

- сетевые подключения – соединение всех решений, данных и приложений посредством оптоволоконной транзитной или лицензированной сотовой сети;
- сетевой доступ – управляемая сеть Wi-Fi или иная нелицензированная беспроводная сеть для подключения всех датчиков и приложений;
- технологическая платформа – платформа, обеспечивающая быстрое и надежное подключение новых устройств к архитектуре по принципу «подключи и работай», а также соединение с облачными сервисами хранения и обработки данных;
- вертикальные и горизонтальные решения – совокупность устройств и приложений, обеспечивающая уникальные решения для различных вертикальных и горизонтальных отраслевых сегментов;
- платформа монетизации – в некоторых вертикалях, таких как «умные» города и сегмент B2C, существуют возможности эффективного использования платформы для создания новых источников прибыли;
- общая платформа управления – общая платформа, обеспечивающая управление, обслуживание клиентов и сервисы для всех решений;
- профессиональные услуги – специальные сервисы, такие как интеграция систем, планирование и проектирование;
- руководство проектом – сервисы по управлению проектом, операциями и экосистемой партнеров.

Успешное развертывание решений и получение огромной потенциальной выгоды от всеобъемлющего интернета зависит не только от классных вещей и приложений. Для воплощения идей и ожиданий в жизнь необходима комплексная, техническая, операционная и организационная платформа всеобъемлющего интернета.

### **1.3 Встраиваемые системы в экосистеме Интернета вещей**

Мировой рынок встраиваемых систем растет, что обусловлено увеличением спроса на портативные компьютерные устройства и встраиваемые решения М2М. Другими ключевыми драйверами роста в последние годы стали тенденция к автоматизации обрабатывающей промышленности, непрерывная эволюция всепроникающей компьютеризации, а также широкое распространение интернета вещей.

Современная концепция Интернета вещей подразумевает, что все современные устройства независимо от платформы должны иметь возможность совместно функционировать с другими устройствами и сервисами, образуя единую взаимосвязанную экосистему, а не существовать изолированно.

Развертывание таких интеллектуальных систем требует слаженной работы сразу нескольких участников рынка, включая как поставщиков комплектующих (процессоров, микропроцессоров, контроллеров, датчиков и т.д.), так и производителей конечных продуктов (потребительская электроника, промышленное оборудование, автомобили, самолеты) и производителей программного обеспечения, способных кастомизировать все эти встраиваемые системы для отдельно взятых заказчиков, подключить их к «облакам» и обеспечить их взаимодействие с другими системами в инфраструктуре заказчика [4].

### **1.4 Технологические проблемы развития**

Есть факторы, способные замедлить развитие интернета вещей. Из них самыми важными считаются следующие три: переход к протоколу IPv6, энергопитание датчиков и принятие общих стандартов.

В феврале 2010 года в мире не осталось свободных адресов IPv4. Хотя рядовые пользователи не нашли в этом ничего страшного, данный факт может существенно замедлить развитие Интернета вещей, поскольку миллиардам новых датчиков понадобятся новые уникальные IP-адреса. Кроме того, IPv6 упрощает управление сетями с помощью автоматической настройки конфигурации и новых, более эффективных функций информационной безопасности [4].

Чтобы Интернет вещей полностью реализовал свои возможности, его датчики должны работать совершенно автономно. Подключить все датчики проводами к контроллерам нецелесообразно и нереально. Поэтому получают развитие датчики, которые способны работать автономно, получая энергию от окружающей среды, например, солнечная энергия [4].

## **1.5 Бизнес-модели для внедрения IoT**

Рассмотрим основные бизнес-модели, по которым будет внедряться IoT в ближайшее время. Первая бизнес-модель – «нормативный контроль». Соблюдение требований контролирующих организаций является необходимым условием для ведения бизнеса, но прямой экономической выгоды они компаниям не приносят, несмотря на значительные затраты. В контексте данной ситуации IoT обладает огромным потенциалом по сокращению издержек в этой области.

Вторая бизнес-модель – «превентивный контроль»: IoT позволяют своевременно выявлять предпосылки для аварийных ситуаций и снижения эффективности работы оборудования. Благодаря IoT можно запустить дистанционный мониторинг и следить за работой оборудования онлайн в реальном времени.

Третья бизнес-модель – «дистанционная диагностика». Датчики IoT могут использоваться для диагностики устройств, на которых они установлены, и автоматически реагировать на изменения их состояния.

Четвертая бизнес-модель – «контроль операций». С помощью IoT можно контролировать цепочку технологических операций, осуществлять контроль перемещения любых устройств и автоматически отслеживать их характеристики в реальном времени. Это позволяет избавиться от воровства и неконтролируемых потерь, повысить эффективность работы подконтрольных объектов, где установлены «умные» датчики, добиться предсказуемости их эксплуатации.

Пятая бизнес-модель – «автоматизация операций». Приход IoT позволяет автоматизировать часто повторяющиеся операции, повышая эффективность работы, качество досуга, степень удовлетворенности клиентов. Достоинство таких IoT-гаджетов выражается не только в упрощении рутинных операций. Они стимулируют продажи, позволяя автоматизировать привычки.

Наиболее активная работа на всех уровнях IoT-платформ идет в области стандартизации. Ведется работа в области стандартов, покрывающих все уровни архитектуры IoT. Координаторы: Международный союз электросвязи (ITU), Ассоциация по стандартизации Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE Standards Association), консорциумы Open Interconnect, W3C [4].

## **1.6 Сотрудничество производителей встраиваемых решений и разработчиков ПО**

При значительном росте рынка встраиваемых систем и количестве конечных подключенных к сети и друг к другу устройств уже сейчас чувствуется серьезная потребность в разработчиках программного обеспечения, понимающих всю сложность экосистемы, в которой развиваются производители компонентов, плат, поставщики готовых систем и компании-интеграторы, и обладающих серьезным опытом в области разработки встраиваемых решений.

Другими словами, кто-то должен «заставить» датчики заговорить на языке производителя устройства или оборудования и конечного пользователя, то есть обеспечить сбор необходимой информации, ее анализ, отображение и взаимодействие с другими системами производителя. Отдельные детали этого «языка» могут отличаться в зависимости от задач конкретного производителя (ОЕМ), а для кастомизации под отдельных заказчиков у производителей датчиков (контроллеров, микропроцессоров и т.д.) не всегда имеются достаточные ресурсы и возможности. Именно на этом этапе требуется поддержка опытной компании-разработчика встраиваемых решений [4].

По мнению экспертов аналитической компании Forrester архитекторы IoT будут интегрировать 5G в новые проекты, но не как замену LoWPAN.

До появления 5G-сетей многие устройства IoT передавали данные с использованием технологий беспроводной персональной сети (LoWPAN) с низким энергопотреблением. Однако, хотя стандарт 5G становится все более популярным, эта сеть не заменит существующие сети LoWPAN, а лишь расширит их применение. Многие отрасли промышленности будут продолжать использовать технологии LoWPAN, а решения 5G-сети будут применяться для передачи данных в облачные сервисы или через телекоммуникационные сети. Потребители будут использовать интеллектуальные дисплеи, стимулируя рост мультимодального дизайна.

Ожидается, что эти технологии будут быстро развиваться, охватывая как личные, так и корпоративные устройства. Одним из наиболее популярных корпоративных решений станут решения для управления конференц-залами, позволяющие целым группам взаимодействовать с удаленными пользователями. По мере развития технология будет все больше переходить к мультимодальному дизайну, придавая одинаковое значение голосовой связи, отображению и сенсорному управлению. При этом ведущие разработчики будут создавать программное обеспечение, которое позволит интеллектуальным дисплеям адаптироваться к различным ситуациям [4].

Хотя IoT предоставляет множество преимуществ, рост количества устройств расширяет поле действия для киберпреступников. Подключение всех устройств к сети делает их чрезвычайно уязвимыми. Предполагается, что злоумышленники будут использовать для выкупа как личные, так и корпоративные устройства. Это означает, что киберпреступники могут шантажировать постоянных клиентов и производителей устройств. Чтобы предотвратить это, разработчики должны тесно сотрудничать с группами безопасности или нанимать экспертов, которые могут интегрировать методы снижения рисков. Кроме того, компаниям нужно тщательно продумать план действий на случай кибератаки.

Предполагается, что IoT обеспечит более эффективную логистику в сфере грузоперевозок и оптимизирует цепочку поставок. Постоянная связь и контроль позволит снизить число перегонов порожних грузовиков, ускорив и удешевив перевозки. Кроме того, IoT поможет водителям соблюдать режим работы и отдыха в пути, повышая безопасность грузоперевозок, а также



позволит быстрее выявлять и исправлять повреждения машин. На складах устройства IoT будут использоваться для обеспечения безопасной работы машин и перемещения тяжелых предметов на автоматизированных тележках. Технология IoT также поможет улучшить качество обслуживания клиентов - доставка товаров станет более персонализированной.

Многие крупные компании, предлагающие подключенные продукты, станут предоставлять услуги на базе данных IoT. Подключенные продукты обеспечивают постоянный обмен информацией между клиентами и производителем. Они также становятся причиной постоянных затрат для производителей, которым необходимо отслеживать эффективность продуктов и обеспечивать обновление ПО. Поэтому производители ищут новые источники дохода для подключенных продуктов, чтобы компенсировать эти затраты. Согласно отчету, в 2020 году крупные потребители и поставщики услуг перейдут от продажи отдельных продуктов к предложению услуг IoT при поддержке партнеров в единой экосистеме.

Компания Microsoft представила исследование IoT Signals, посвященное динамике внедрения Интернета вещей в компаниях из разных индустрий и стран мира. Согласно его результатам, 85% организаций уже имеют как минимум один бизнес-проект в этой сфере, а в последующем данная цифра будет только расти (рисунок 1.4). При этом 88% руководителей таких проектов осознают преимущества технологии для успеха компании и ожидают 30% окупаемость инвестиций в двухлетней перспективе [6].



Рисунок 1.4 – Причины успеха IoT

Среди основных целей внедрения респонденты выделили необходимость оптимизации рабочих процессов (56%), повышения продуктивности сотрудников (47%), а также общую безопасность компании (44%).



Респонденты прогнозируют, что искусственный интеллект, современные вычислительные технологии, 5G, цифровые двойники и блокчейн ускорят распространение Интернета вещей (рисунок 1.5).

Одним из основных стоп-факторов применения технологий Интернета вещей стала сложность внедрения и дальнейшей работы (38%), в том числе отсутствие необходимой ИТ-инфраструктуры в компаниях. Также те, кто уже запустил проекты в области Интернета вещей, столкнулись с нехваткой квалифицированных специалистов (47%) и ресурсов для их обучения (44%).

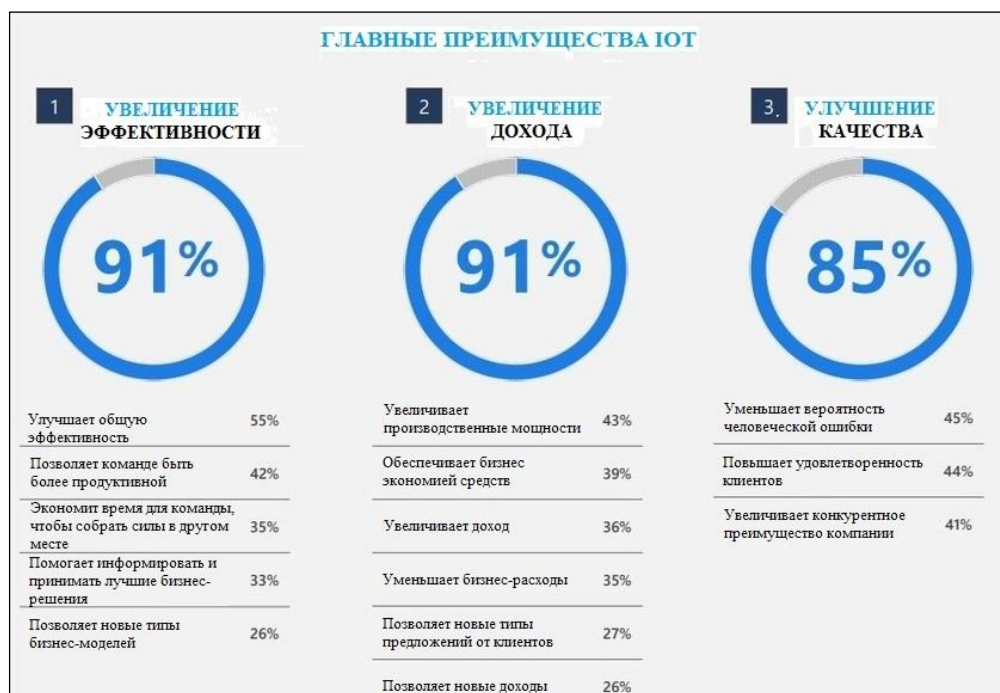


Рисунок 1.5 – Главные преимущества IoT

При этом несмотря на то, что 97% опрошенных беспокоит безопасность систем Интернета вещей (рисунок 1.6), этот фактор не сдерживает скорость и объем внедрений. В качестве наиболее перспективных превентивных мер они выделяют: создание надежной системы аутентификации пользователей (43%), отслеживание и управление устройствами Интернета вещей (38%) и защиту их конечных точек (38%).

Microsoft поддерживает развитие умных устройств и Интернета вещей и к 2022 году планирует инвестировать в эту сферу 5 миллиардов долларов. Отмечается, что платформа Azure IoT Central позволяет упростить внедрение решений, снизить нагрузку и расходы, связанные с управлением и разработкой. А операционная система Microsoft Azure Sphere обеспечивает несколько уровней защиты, помогая таким образом предотвратить негативные ситуации, например, потерю данных [6].

На государственном уровне в США обсуждаются "угрозы и проблемы безопасности, создаваемые интернетом вещей" и "способы создания дополнительной кибербезопасности".



Рисунок 1.6 – Главные проблемы IoT

Аппаратная платформа Интернета вещей – это вычислительная платформа, которая имеет встроенные функции подключения Ethernet и Wi-Fi, оснащенная портами USB для клавиатуры и мыши, портом HDMI для отображения, построенная на производительных процессорах.

На данный момент процесс проектирования электронных устройств представляет собой различные универсальные программно-аппаратные платформы: от промышленных модульных систем до готовых решений и любительских DIY-платформ. Модульный подход подразумевает, что конечная система собирается как конструктор из отдельных законченных функциональных блоков при минимальной доработке ПО. Яркий пример – Arduino. Другие платформы, наоборот, стремятся сконцентрировать максимум функционала на материнской плате. Одним из примеров таких платформ является I3Mote для промышленного Интернета вещей от компании Texas Instruments [7].

Как сказано выше, существует множество различных платформ и решений. При этом их число постоянно растет. Сразу стоит отметить, что у каждой платформы могут быть достоинства и недостатки.

### 1.7 Развитие IoT в Казахстане

В Казахстане об интернете вещей говорят давно, но важность развития этой сферы оценило государство и взяло под свой контроль несколько проектов

под эгидой развития IoT. Министерство по инвестициям и развитию предоставит план перехода промышленных предприятий на технологии «Индустрии 4.0», что предполагает внедрение таких элементов, как автономное оборудование, интернет вещей и Big Data. С каждым годом промышленность становится все больше цифровой и мобильной [8].

Обычно в производстве задействована целая сеть разных заводов, начиная от поставщиков сырья и заканчивая станками, непосредственно производящими продукцию. Можно сказать, что раньше существовала зависимость от поставщиков разного уровня. Технологии «Индустрии 4.0» ставят задачу быстрой перенастройки производства. Например, в Германии достигли такого уровня, что завод может за 30 минут сменить направление производства и начать выпускать совершенно другую продукцию. Специальное оборудование по автоматизации задает команды по перенастройке станков, что раньше было невозможно. Это и есть принцип промышленного интернета вещей.

В настоящее время внедряются системы IoT в сфере ЖКХ и в общественном транспорте. В четырех городах Казахстана — в Астане, Шымкенте, Алматы и Актобе — запущен пилотный проект под названием Smart City. Министерство по инвестициям и развитию РК в лице Единого государственного фонда нормативных технических документов разработало регламент внедрения данных проектов [8].

В частности, в 2015—2016 годах было разработано 9 основополагающих национальных стандартов, которые закладывают основную политику и концепцию. Эти стандарты затрагивают ключевые сферы городской среды: руководство по созданию стратегий развития смарт-городов и сообществ, интеллектуальные инфраструктуры коммунального хозяйства, руководство по созданию моделей взаимодействия данных и др.

Основополагающие национальные стандарты направлены на развитие инфраструктуры городов, транспорта, энергосбережения, внедрения других «умных» проектов. Реализация проекта Smart City представляет качественно новые подходы к решению этих задач с помощью широкого применения информационных коммуникационных технологий для комплексного использования городских служб, предоставления качественных услуг и обеспечения максимальной безопасности городской жизни.

Стандартизация в Казахстане стоит на пороге перемен, так как разрабатывается новый закон, который не только описывает стандарты, но и выводит стандартизацию в отдельную систему регулирования, что позволит увеличить экспорт отечественных товаров, обеспечит положительный экономический эффект и поможет привлечь инвестиции в экономику страны. Планируется разработать еще более 10 различных документов. Задача государства — обеспечить нормативно программы развития смарт-городов [8].

С практической точки зрения на сегодняшний день в стадии бета-тестирования находится ряд проектов в сфере ЖКХ, которую часто ругают за низкую эффективность и непрозрачность. Например, в Астане внедряются

приложения для взаимодействия жителей столицы с КСК. Все это делается для того, чтобы упростить и сделать прозрачной деятельность кооперативов собственников квартир.

С другой стороны, улучшается методика сбора данных потребляемых услуг. Казахская компания «Orion Система» разработала собственные приборы учета потребления горячей и холодной воды, газа и электроэнергии. Данные передаются через сети на базе открытого стандарта LoRaWAN (Long Range Wide-Area Networks — энергоэффективные сети дальнего радиуса действия). Подобные устройства оказались востребованными у поставщиков коммунальных услуг, поскольку позволят последним находить потери при потреблении услуги и тем самым повышать эффективность собственной деятельности [9].

Современные технологии стандарта LoRaWAN, разработанные специально для M2M-взаимодействия (Machine-to-Machine — машинное взаимодействие), позволяют подключить большое количество IoT-устройств, передающих незначительный объем данных в месяц, освобождая от нагрузки существующие сети сотовой связи. На данный момент осуществляется пилотный проект в ряде городов Казахстана: в Астане установлено порядка 200 радиомодемов по учету горячей и холодной воды, электричества и газа, в Шымкенте — порядка 55 радиомодемов, в Алматы — около 40. Астана и Шымкент в плане цифрового развития — очень передовые города, и не только для Казахстана. Руководство этих мегаполисов заинтересовано в развитии проекта Smart City.

В сфере ЖКХ как государство, так и частные компании, несут огромные потери из-за слабой автоматизации процессов. Кроме того, для конечного потребителя стоимость ресурсов относительно дешевая, поэтому для коммунальщиков становятся актуальными недорогие решения — на крупные инвестиции никто идти не готов. Однако перспективы у данных систем есть не только в жилищно-коммунальном хозяйстве, но и в нефтегазовой отрасли, в которой на сегодняшний день также запущены пилотные варианты и окончательных внедрений пока нет.

Изменения происходят и в энергетике, которая также трансформируется из традиционной аналоговой в цифровую. В Европе этот процесс начался несколько лет назад, а в Казахстане переход от аналоговых сигналов к цифровым только начался и постепенно осуществляется.

Большую роль играет сотовая связь, стандарты которой также будут играть ключевую роль в распространении интернета вещей. Один из лидеров производства аппаратного обеспечения, компания Huawei принимает активное участие в создании сетей на основе 5G. Сегодня мир находится в преддверии новой технологической революции в беспроводных сетях — пятого поколения сотовой связи (5G), которая уже постепенно внедряется в ряде стран и тесно связана с развитием интернета вещей.

Главное ее отличие от предыдущих поколений (3G и 4G) — огромная (свыше 10 Гбит/с) скорость передачи данных, а, соответственно, и отклика. Но

в контексте использования 5G IoT-устройствами скорость все же не является определяющим фактором. На первое место здесь выходят надежность сети, минимальная задержка сигнала и возможность массового подключения различных «умных» устройств со своими конкретными задачами и бесперебойность их взаимодействия».

Компания Huawei прогнозирует, что первые сети 5G будут готовы к коммерческому развертыванию в мире в ближайшее время. Правительство планирует, что сеть связи новейшего поколения 5G появится и в Казахстане к этому времени, и при этом, обеспечить всю необходимую подготовку и плавный своевременный переход [10].

Известно, что национальный оператор «Казахтелеком» строит беспроводную сеть стандарта LPWAN с использованием отечественного оборудования на базе технологии LoRaWAN. Такие сети обладают низким энергопотреблением и широким территориальным охватом. До конца года планируется охватить сетью три города, а в следующем году весь Казахстан. На основе этой беспроводной сети могут работать различные GPS-трекеры, датчики движения, «умные» светофоры и «умное» освещение — возможности не ограничены, так как сотовые сети не позволяют реализовать весь потенциал интернета вещей, поскольку используют лицензированный диапазон. Стоимость решений на базе GSM в разы дороже.

Один из примеров развития «Интернета вещей» - развитие видеонаблюдения на улицах и в подъездах многоквартирных. В результате реализации проекта уже зафиксировано снижение количества квартирных краж в домах [11].

Национальный оператор «Казахтелеком» установил 36 тысяч видеокамер. Они установлены во всем многоподъездном секторе и возможно этот проект будет продолжен, т. к. камеры помогли навести порядок на местах, что является большим успехом.

Каждая камера производит свой трафик, а общее количество хранимой компанией на Павлодарском ЦОДе информации со всех видеокамер составляет 15 петабайт или 90 лет жизни каждого человека в HD-формате.

Помимо этого, «Казахтелеком» перешел к выполнению функций оператора фискальных данных. 300 тысяч абонентов ежесекундно генерируют трафик по транзакциям. Те транзакции, которые проходят в кассах, проходят через сеть «Казахтелекома», в которой используются два действующих оператора мобильной связи, Kcell и Tele2 [11].

Государство получает свои плюсы от данного процесса – бюджет дополнительно получил миллиарды тенге в результате фискализации операций в различных отраслях.

Также «Казахтелеком» построил большую сеть LoRa в 10 городах Казахстана. Технология LoRaWAN готова принимать до 10 млн устройств и сейчас идет работа с регионами, чтобы начать подключение данных сетей. Также прогнозируется рост таких сетей и в будущем. В числе точек потенциального роста – автомобили.

Со временем сети LoRaWAN будут увеличиваться по количеству разных подключаемых устройств. На данный момент существует много интересных решений, что предоставляют компании автомобильной отрасли. Между физическими и юридическими лицами есть еще один класс клиентов – автомобилисты, которые готовы тратить деньги на свои автомобили и устанавливать датчики. «Казахтелеком» планирует активно подойти к решению этого вопроса, уже имея мобильных операторов, чтобы сделать соответствующие автодатчики для передвижения автомобильного транспорта.

Данное развитие различных сфер в плане автоматизации и цифровизации даёт «Казахтелекому» новые возможности, чтобы показать свою эффективность и зарабатывать соответствующую прибыль. Еще одну возможность для роста в будущем у компании появится в коммерциализации «Интернета вещей» в секторе домохозяйств.

В 2019 году «Казахтелеком» уже презентовал проект умного города Акколь в Акмолинской области. Город был оснащен датчиками, передающими онлайн-показания расхода электроэнергии и водоснабжения, а также оснащен видеокамерами. Также разные решения были применены в экологическом мониторинге и пожарной безопасности [11].

Данная реализация даёт разрешать различные проблемы своевременно. Появляется возможность выяснения причинно-следственной связи между инцидентами. К примеру, плохая успеваемость в школе может быть связана с плохой работой отопления.

После демонстрации возможностей «умного города», интерес к технологиям появился и у других местных акиматов. В частности, их интересует видеонаблюдение и IT-решения.

Аналогичные решения развиваются и в других городах. В частности, «Казахтелеком» и столичный центр iКОМЕК в рамках пилотного проекта подписали меморандум о внедрении системы автоматизированного мониторинга более 102 тыс. наземных канализационных люков Нур-Султана. Стороны намерены рассмотреть возможность сотрудничества по оснащению датчиками колодцев различных городских служб.

В частности, датчики будут подключены к платформе мониторинга, которая позволит в режиме реального времени фиксировать факты открытия люков и сигнализировать о необходимости принятия определенных действий. Кража канализационных люков для последующей их сдачи на металлолом – частая проблема в столице. «Казахтелеком» планирует провести пилотное оснащение определенных колодцев городских служб «Астана Су Арнасы» и «Теплотранзит» [11].

В Казахстане процесс перехода на сети нового поколения регламентируется регулятором. Соответственно, все представители различных видов связи ожидают, что в ближайшее время такие права будут предоставлены операторам мобильной связи. После этого появится официальная возможность разворачивать сети.

При этом период развертывания 5G во всех населенных пунктах страны может занять до 10 лет.

По предыдущим технологиям 3G, 4G предположительно можно сказать, что период развертывания сетей 5G займет до 10 лет. Этот процесс не прост. В любом случае придется поддерживать и сети 2G, т. к. у ряда пользователей на руках до сих пор простые устройства. Придется поддерживать и 3G, потому что многие технологии привязаны к этому стандарту сотовой связи, и цена передающего устройства недорога, поэтому его часто используют в банкоматах и так далее. И множество потребителей оснащены этими устройствами [11].

Кроме того, придется однозначно поддерживать и 4G, потому что эта технология стала частью цифровой экономики. В целом, стандарты 5G, «умные города», блокчейн, электронное правительство, индустриальные и сельскохозяйственные технологии - это то, что «Казахтелеком» уже воплощает в жизнь по всей стране. В частности, уже подписаны меморандумы о реализации «умных городов» с акиматами Алматы, Мангистауской и Туркестанской областей.

Необходимо отметить, что среди стран СНГ Казахстан лидирует в области внедрения решений M2M-взаимодействия [8].

Концепция и принципы IoT выходят далеко за рамки описанных проектов: можно отметить, что и в мире, и в Казахстане создаются проекты в области общественного транспорта, в медицине и образовании. Компания Huawei, например, ведет активную работу по изучению и развитию данного перспективного направления. Специалистами компании разработан целый ряд решений, таких как «Умный город», «Безопасный город», «Умное образование», «Умные электросети», реализованных в более чем 30 странах мира.

Например, камеры системы «Безопасный город» предоставляют для анализа видеоматериалы высокого качества, отснятые в дневное и ночное время, даже если объекты быстро движутся. В столице Таджикистана Душанбе за 3 месяца эксплуатации решений по «Безопасному городу» количество ДТП сократилось на 50%, было обнаружено более 150 тыс. нарушений ПДД и более 300 нарушений правил общественного порядка. Подобный проект также помог серьезно улучшить ситуацию с безопасностью в проблемной с этой точки зрения Венесуэле [12].

Одним из перспективных и наиболее интересных проектов в рамках разработки и внедрения умных сервисов является телемедицина. Интернет вещей предлагает многоканальное оборудование для телемедицины для проведения медицинских консультаций в удаленных и труднодоступных местах, мобильного обхода пациентов, отображения информации об истории болезни пациента и описания хирургических операций в формате HD. Такие проекты обеспечивают техническую поддержку в круглосуточном режиме 7 дней в неделю и своевременное лечение для серьезно больных пациентов. Например, решение по телемедицине было внедрено в китайской провинции Хынань, где проживает порядка 170 млн человек.

На данный момент для промышленных предприятий целью является продукт, который будет произведен в точности под потребности клиента. Данный процесс протекает очень быстро, если раньше существовала автоматизация внутри завода, то теперь автоматизируется целая сеть заводов и даже регионов. Если говорить о Казахстане, то интерес к автоматизации у предприятий есть, но полный переход к цифровым технологиям зависит в первую очередь от макроэкономических показателей и требует серьезных инвестиций. Новые решения могут позволить те компании, у которых есть деньги, в основном это нефтегазовый сектор.

По оценке Price Waterhouse Coopers, развитие интернета вещей в мире стало возможным благодаря четырем технологическим тенденциям: снижению стоимости вычислительных мощностей, снижению стоимости передачи данных, быстрому увеличению количества «подключенных» устройств, развитию облачных технологий и системам Big Data. Исследования Price Waterhouse Coopers выявили, что ожидания компаний от внедрения IoT отличаются в зависимости от отрасли, но в первую очередь бизнес ожидает сокращение затрат, и только затем увеличение прибыли и снижение разного рода рисков. Аналитики PWC отмечают, что внедрение технологий интернета вещей — дело достаточно сложное и требует наличия четкой стратегии, плана внедрения и всесторонней оценки рисков и выгод.

### **1.8 Постановка задачи исследования**

Одним из драйверов четвертой промышленной революции является концепция Интернета вещей. Интернет вещей представляет собой технологию, которая объединяет устройства в единую сеть, позволяющую им осуществлять сбор, анализ, обработку и передачу данных различным объектам посредством программного обеспечения, технических устройств или приложений без участия человека.

Применение разнообразных технологий и внедрение на практике ранее разработанных решений для реализации концепции стало возможным благодаря огромному разнообразию аппаратных платформ, повсеместному распространению беспроводных сетей, появлению облачных вычислений, развитию технологий межмашинного взаимодействия, началу активного перехода на IPv6 и освоению программно-определяемых сетей.

Аппаратная платформа выполняет роль серверной машины, которая осуществляет приём данных от различных устройств, опрос датчиков по различным протоколам, хранение полученных показаний при помощи систем управления базами данных, управление разнообразными исполнительными устройствами, блоками, модулями и прочее в зависимости от задач и позволяет развернуть решение в краткие сроки.

В настоящее время существует много готовых решений, но в большинстве своём они являются дорогими и проприетарными, что ограничивает гибкость системы, подключение сторонних устройств, интеграцию с различными системами. Необходимо провести исследование для



разработки более дешёвого варианта серверной машины при помощи программного обеспечения с открытым исходным кодом. Это позволит снизить цену решения для потенциального построения гибкой системы, которую можно будет перенастроить в кратчайшие сроки при смене задач либо возникновении нештатных ситуаций, с возможностью интеграции с различным проприетарным и свободным ПО.

Целью диссертационной работы является разработка аппаратной платформы контроллера для устройств IoT.

Для осуществления данной цели следует решить следующие задачи:

- формирование требований и критериев к аппаратной платформе контроллера IoT;
- сравнительный анализ технологий для аппаратной платформы контроллера IoT;
- выбор оптимальной платформы;
- реализация имитационной модели серверной машины на базе выбранной модели.

## **2 Анализ современных аппаратных платформ контроллеров**

### **2.1 Основные критерии выбора платформы контроллеров**

При осуществлении проектов, связанных с IoT, можно столкнуться с выбором аппаратной платформы для стороны клиента, так как на данный момент существует широкий выбор плат и решений для построения эффективной и недорогой системы с использованием готовых модулей.

Рассмотрим некоторые из доступных решений для плат микроконтроллеров и микрокомпьютеров, которые в настоящее время довольно распространены и доступны на различных рынках. При проектировании необходимо помнить, что микрокомпьютеры используют операционные системы, а микроконтроллеры используют микропрограмму на языке C или другой язык, скомпилированный кодом процессора [13].

Микроконтроллер - это микрочип или плата с микрочипом для решения клиентских частей IoT-проектов. Программирование микроконтроллеров обычно осуществляется с помощью языка программирования высокого уровня, такого как C, C++, Python и т.д. Некоторые проекты в IoT проще всего решить на микроконтроллерах. Они поддерживают множество стандартов ввода и вывода, работают с меньшим энергопотреблением и стоят дешевле по сравнению с микрокомпьютерами. Недостатком является меньшая вычислительная мощность и отсутствие операционной системы по умолчанию. Наиболее популярными микроконтроллерами являются Atmel, STM, ESP (или, например, платы Arduino), ESP8266, ESP32 и т.д.

Микрокомпьютер обычно представляет собой систему на чипе, включая классическую архитектуру фон Неймана с центральным процессором, видекартой, оперативной памятью, сетями WiFi / Bluetooth и портами ввода-вывода. Современные микрокомпьютеры используют такие операционные

системы, как Linux и Windows. Как правило, микрокомпьютеры имеют большую вычислительную мощность, чем микроконтроллеры, видеовыход на HDMI, высокоскоростной Wi-Fi и Bluetooth, подключение к картам флэш-памяти и M.2 и т.д. Недостатком микрокомпьютеров является более высокая цена и более высокое энергопотребление по сравнению с микроконтроллерами. Микрокомпьютеры используются в проектах IoT, если необходимо выполнять задачи высокого уровня, включая потоковое видео, сложные информационные системы, мини-серверы [14].

Правильный выбор аппаратного обеспечения для построения IoT-решения в первую очередь зависит от размера задач, которые должны быть выполнены на стороне клиента.

В любом случае необходимо сосредоточиться на лучшем качестве и дешевом решении для построения клиентской части. В настоящее время на рынке представлены довольно мощные микропроцессорные платы, которые можно легко интегрировать даже с протоколами Bluetooth и WiFi плюс HTTP.

Эти решения могут варьироваться в цене от нескольких долларов за контроллер до 14000 тенге (или 20000 тенге и выше за версию с 4 ГБ памяти) на электронную плату [15].

В настоящей диссертационной работе выполнено исследование существующих аппаратных платформ IoT и выбор оптимальной платформы для выполнения функций центральной управляющей машины.

При выборе аппаратной платформы IoT необходимо опираться на технические характеристики платформ, их цены, доступность, размеры.

Особую важность представляют следующие критерии сравнения платформ [16]:

- микрочип, процессор, способный исполнять машинные инструкции (код программ);
- память, встроенная для использования внутренних возможностей модели;
- интернет-порты (Ethernet, Wi-Fi) для последующих возможных обновлений без физического присутствия, автономности работы;
- USB-порты;
- интерфейс ввода/вывода общего назначения (GPIO), позволяющий подключить различные датчики и исполнительные устройства;
- видео и звук (возможность воспроизведения);
- мультимедиа (декодирование различных вариантов сжатия видео), дающий возможность передавать потоковое или ранее записанное видео;
- поддержка SD-карт с возможностью использовать и осуществлять смены различных вариантов операционных систем;
- языки разработки, с помощью которых можно сделать гибкий проект, работающий с различными системами;
- средства разработки IoT-приложений;
- поддержка протоколов IoT;
- управление устройствами;

- скорость развёртывания решения;
  - модель ценообразования и способы поставки решения.
- С этих позиций рассмотрим используемые аппаратные платформы.

## 2.2 Микроконтроллеры торговой марки Arduino

Данный вариант платформы, представленный на рисунке 2.1, способен чувствовать среду, которая его окружает, принимая от разнообразных сенсоров начальную информацию. На основе данной информации принимаются решения по управлению другими элементами, осуществляется контроль над осветительными приборами, исполнительными устройствами и т.д. На плате используется микроконтроллер, который можно конфигурировать с помощью языков программирования Arduino [17].

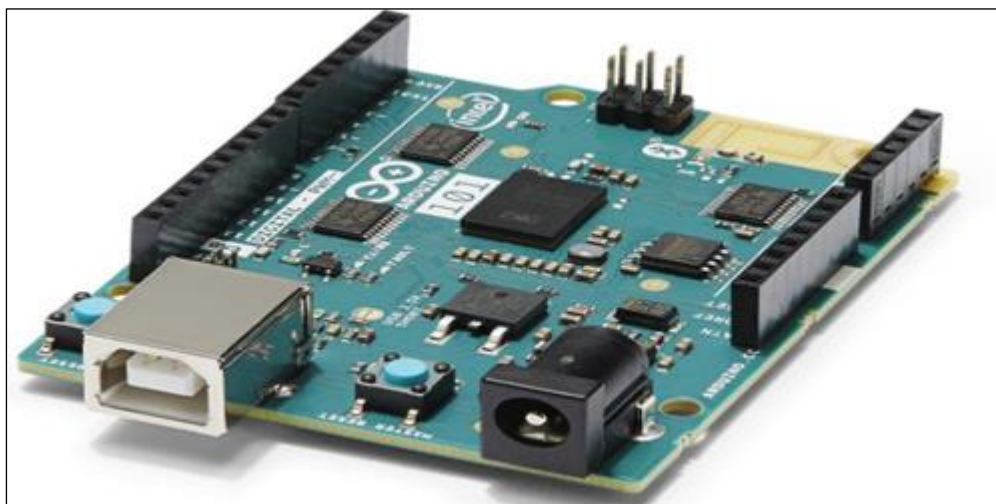


Рисунок 2.1 – Микроконтроллер Arduino

Проекты, выполненные на этой платформе, могут быть осуществлены как полностью автономными, так и выполняющими различные действия, находясь в связи с разнообразными программным обеспечением, которое установлено на устройстве. Интегрированная среда разработки (IDE), которая является открытым исходным кодом, показала высокую производительность на компьютерах под управлением различных операционных систем: Mac, Linux и Windows. Основой IDE является язык программирования Processing. IDE спроектирована настолько просто, что может быть использована даже неопытными пользователями. Благодаря данному языку появляется возможность создавать визуализации с отображением анимации и выводом изображений [18].

Главным успехом Arduino стало появление аналого-цифрового входа для подключения датчиков: света, температуры, звука и других.

Микроконтроллеры для Arduino отличаются наличием предварительно прошитого в них загрузчика. С помощью этого загрузчика пользователь загружает свою программу в микроконтроллер без использования

традиционных отдельных аппаратных программаторов. Загрузчик соединяется с компьютером через интерфейс USB (если он есть на плате) или с помощью отдельного переходника UART-USB. Поддержка загрузчика встроена в Arduino IDE и выполняется в один щелчок мыши.

На случай затирания загрузчика или покупки микроконтроллера без загрузчика разработчики предоставляют возможность прошить загрузчик в микроконтроллер самостоятельно. Для этого в Arduino IDE встроена поддержка нескольких популярных дешевых программаторов, а большинство плат Arduino имеет штыревой разъем для внутрисхемного программирования (ICSP для AVR, JTAG или SWD для ARM).

В Arduino IDE встроена возможность создания своих программно-аппаратных платформ. Этой возможностью пользуются сторонние компании, добавляющие в Arduino IDE свои наборы плат и компиляторов-загрузчиков к ним [20].

Порты ввода-вывода микроконтроллеров оформлены в виде штыревых линеек. Никакого буферизирования, защиты, конвертации уровней, как правило, нет. Микроконтроллеры питаются от 5В или 3,3В, в зависимости от модели платы. Соответственно порты имеют такой же размах допустимых входных и выходных напряжений. Программисту доступны некоторые специальные возможности портов ввода-вывода микроконтроллеров, например, широтно-импульсная модуляция (ШИМ), аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), интерфейсы UART, SPI, I2C. Количество и возможности портов ввода-вывода определяются конкретным вариантом микропроцессорной платы.

Помимо портов на платах микроконтроллеров иногда устанавливается периферия в виде интерфейсов USB или Ethernet. Опциональный набор внешней периферии на модулях расширения включает в себя:

- USB Device (чаще всего как виртуальный COM порт через FTDI FT232, имеются также версии с эмуляцией USB HID Class клавиатур и мышек);
- проводной и беспроводной Ethernet как на основной плате, так и на платах расширения;
- модуль GSM и другие беспроводные интерфейсы;
- USB Host;
- SD card;
- модуль управления низковольтным мотором на базе L298.

Поддерживаются шаговый и коллекторный двигатели с напряжением до 12В и током до 2А на канал. Могут подключаться также реле, электромагниты и т. п. Модуль не имеет гальванической развязки;

- графический ЖКИ индикатор;
- модуль с макетным полем.

Сторонние производители выпускают широкую гамму датчиков и исполнительных устройств, подключаемых к Arduino. Например, гироскопы, компасы, манометры, гигрометры, термометры, релейные модули, индикаторы, клавиатуры и т. п.

Однако Arduino является 8-битным микроконтроллером ATmega, а не мини-компьютером, т.е. его возможности ограничены [13].

Характеристики одной из популярных моделей Arduino Uno по выбранным ранее критериям сравнения платформ:

- данная модель обладает микроконтроллером ATmega328P семейства AVR, имеющий 8-битный процессор и позволяющий выполнять большинство команд за один такт;

- обладает флеш-памятью, равной 32 кБ (0,5 кБ используются для загрузчика) для загрузки, хранения, использования и компилирования программ, а также 2 кБ ОЗУ (SRAM) и 1 Кб EEPROM, которая читается и записывается с помощью библиотеки EEPROM;

- интернет-порты отсутствуют, но на модели установлено несколько устройств для осуществления связи с компьютером, другими устройствами Arduino или микроконтроллерами. ATmega328 поддерживают последовательный интерфейс UART TTL (5 В), осуществляемый выводами 0 (RX) и 1 (TX). Установленная на плате микросхема ATmega8U2 направляет данный интерфейс через USB, программы на стороне компьютера "общаются" с платой через виртуальный COM порт. Прошивка ATmega8U2 использует стандартные драйвера USB COM, никаких сторонних драйверов не требуется;

- язык программирования Arduino является стандартным C++ (используются компиляторы семейства GNU Compiler Collection) с некоторыми особенностями, облегчающими написание первой работающей программы. Программы, написанные программистом Arduino, называются набросками и сохраняются в файлах с расширением \*.ino. Эти файлы перед компиляцией обрабатываются препроцессором Ардуино. Также существует возможность создавать и подключать к проекту стандартные файлы C++;

- программирование ведется целиком через собственную программную оболочку (IDE), бесплатно доступную на сайте Arduino (распространяется по условиям GPLv2). В этой оболочке имеется текстовый редактор, менеджер проектов, препроцессор, компилятор и инструменты для загрузки программы в микроконтроллер. Оболочка написана на Java на основе проекта Processing, работает под Windows, Mac OS X и Linux. Используется комплект библиотек Arduino (по лицензии LGPL);

- скорость развёртывания решений на данной платформе высока, так как можно загружать уже подготовленные программы на микроконтроллеры, но диапазон применения ограничивается простыми и не слишком сложными периферийными устройствами, то есть данная модель подходит для осуществления управления между периферией и более сложной платформой, играющей роль сервера;

- цена на данную модель довольно низка, что позволяет закупать её крупными партиями. Данная модель является распространённой, т. е. нет проблем в ее поиске и приобретении.

### **2.3 Одноплатный компьютер Raspberry Pi**



Одноплатный компьютер Raspberry Pi, представленный на рисунке 2.2, имеет размер банковской карты, его история применения началась как доступная альтернатива обучения информатике [20]. Однако позже благодаря рабочим качествам компьютер стал массово использоваться для различных целей. В настоящее время существует множество различных вариантов данного одноплатного компьютера по разнообразным ценам. Последний на данный момент вариант компьютера – Raspberry Pi 3. Он стал первым 64-битным мини-компьютером, оснащённым 4-ядерным процессором ARM Cortex A53, 1 Гб оперативной памяти, графическим процессором, встроенными Wi-Fi и Bluetooth технологиями и различными интерфейсами.



Рисунок 2.2 – Одноплатный компьютер Raspberry Pi

Любопытной особенностью Raspberry Pi является наличие портов GPIO. GPIO (General Purpose Input-Output) – это низкоуровневый интерфейс прямого управления портами ввода-вывода. На Raspberry Pi его можно увидеть, как 40-штырьковый разъём. С помощью алгоритмов, заложенных пользователем, можно осуществлять управление устройствами, которые подключены к портам ввода-вывода. При этом устройство может быть простым светодиодом или сложной системой типа: «умной дом» [21].

Мини-компьютер Raspberry Pi выпускался или выпускается в следующих версиях: «А», «А+», «В», «В+», «2В», «Zero», «Zero W», «3В», «3В+», «3А+» и «4В». Первые четыре модели «А», «А+», «В» и «В+» оснащены ARM11 процессором Broadcom BCM2835 с тактовой частотой 700 МГц и модулем оперативной памяти на 256 МБ («А», «А+») и 512 МБ («В», «В+»), размещенными по технологии «package-on-package» непосредственно на процессоре. Модель «2В» оснащается процессором с 4 ядрами Cortex-A7 с частотой 900 МГц и оперативной памятью размером 1 Гб. Модели Zero и Zero

W выпустились тоже на базе ARM11, но уже с частотой 1 ГГц, но при этом оперативная память составила лишь 512 МБ. Версии мини-компьютера «3В», «3В+» и «3А+» оснастили, как и более раннюю модель «2В», 4-х ядерным процессором Cortex-A53 (ARM v8), с частотой процессора 1,2 ГГц у «3В» и 1,4 ГГц у «3В+» и «3А+», с оперативной памятью 1 ГБ у «3В» и «3В+» и 512 МБ у «3А+». На фоне предыдущих версии модель «4В» стала более продвинутой, получив новую СнК BCM2711 с 4 ядрам процессором ARM Cortex-A72 на частоте 1.5 ГГц. Raspberry Pi «4В» стала доступной в 3 вариантах с 1, 2 или 4 ГБ ОЗУ на выбор пользователя [22].

Модель «А» оснащается одним USB 2.0 портом, модель «В» — двумя, а модели «В+», «2В», «3В», «3В+», «4В» — четырьмя, при этом, у «4В» из четырёх портов USB два имеют формат USB 3.0. Также в моделях «В», «В+», «2В», «3В», «3В+» и «4В» присутствует порт Ethernet. Модели «Zero W», «3В», «3В+» и «4В» поддерживают Wi-Fi и Bluetooth. Помимо основного ядра, BCM2835 включает в себя графическое ядро с поддержкой OpenGL ES 2.0, аппаратного ускорения и Full HD-видео и DSP-ядро. Одной из особенностей является отсутствие часов реального времени. У модели «4В» со стороны графики используется VideoCore VI (OpenGL ES 3.x) и добавлен аппаратный декодер 4Кр60 для HEVC видео. Для подключения мониторов у «4В» доступно 2 порта microHDMI.

Вывод видеосигнала возможен через композитный разъём RCA или через цифровой HDMI-интерфейс. В версии «В+», «2В» и «3В» вывод возможен через аудиоразъём 3,5 мм. Корневая файловая система, образ ядра и пользовательские файлы размещаются на карте памяти SD, MMC (в моделях А и В), в новых моделях, начиная с «В+», используется microSD, в «3В», «3В+», «4В» существует возможность загружаться с USB-носителя или по сети, также можно использовать SDIO.

Одной из самых интересных особенностей Raspberry Pi является наличие портов GPIO (general purpose input/output). Благодаря этому «малиновый» компьютер можно использовать для управления различными устройствами. В модели «В» платы присутствует 26-пиновый, а в модели «В+», «2В», «3В», «3В+», «3А+», «4В» 40-пиновый разъём GPIO.

Raspberry Pi использует операционные системы на основе ядра Linux, в том числе и Android. Запуск Windows возможен при помощи средств виртуализации XenDesktop.

Для создания программ на стационарном компьютере Raspberry Pi, необходимо скачать и настроить специальные ARM-компилятор и библиотеки, скомпилированные для целевой ARM-платформы.

Рассмотрим одну из популярных моделей Raspberry Pi по выбранным ранее критериям сравнения платформ:

- процессор Cortex-A53 64-bit SoC с тактовой частотой 1.4GHz, который может поддерживать исполнение команд с изменением последовательности, обладает ядром ARMv8 с поддержкой 32- и 64-битных расчётов, имеет 40-битную виртуальную адресацию памяти;

- ОЗУ составляет 1 Гб, а также от 8 до 64 Кбайт кеш-памяти L1 для инструкций и 8—64 Кбайт кеш-памяти L1 для данных;
- беспроводная связь осуществляется через Wi-Fi 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE, а проводная – GigabitEthernet порт через адаптер USB-Ethernet 2.0, дающий максимальную пропускную способность 300 Мб/с;
- 4 USB 2.0 ports;
- расширенный 40-контактный разъём GPIO, позволяющий подключить различные датчики и исполнительные устройства;
- есть возможность подключения камеры через CSI camera port для осуществления записи видео, дисплея через DSI display port для воспроизведения различных материалов, 4-х полюсный стереовыход и композитный видеопорт;
- поддерживает возможность подключения microSD карты для загрузки операционной системы и хранения данных;
- языки разработки очень разнообразны для данной модели, так как она является миникомпьютером. Следовательно, проекты можно осуществлять как на одном языке программирования, так и на нескольких;
- поддержка протоколов может быть организована в зависимости от применения данной машины, так как есть возможность осуществлять поддержку нескольких протоколов;
- управление устройствами может осуществлять, как напрямую, путём прямого машинного кода, так и через различные приложения;
- скорость развёртывания решения довольно высока, так как возможно развёртывание единой операционной системы сразу на нескольких машинах одновременно. Данная модель может использоваться, как промежуточное устройство между периферией и центральной машиной, так и выступать в роли самой центральной машины (сервера). Могут быть лишь ограничения в количестве обрабатываемых данных;
- цены на данные модели средние, что удорожает проекты и так как основное производство данной модели осуществляется в Великобритании, то поставки могут быть долгими и затратными.

## **2.4 Аппаратная платформа Intel Galileo**

В октябре 2013 года свою первую версию микрокомпьютера представила корпорация Intel. Intel Galileo, показанный на рисунке 2.3 - это высоко интегрированная плата размером чуть больше кредитной карты. Микрокомпьютер от Intel оснащён процессором Intel Quark X1000 с частотой 400 МГц, материнской платой с флеш-памятью объёмом 8 Мб, оперативной памятью 256 Мб, портом VLAN, слотом PCI express и различными интерфейсами. Платформа использует облегчённые варианты ОС Linux и стандартную среду разработки Arduino. Особенностью решения от Intel является наличие собственного контроллера для USB, обмен данными без



участия SPI. Новинкой стал слот PCI Express, позволяющий установить Wi-Fi, Bluetooth и 3G. IDE разработана под удобный стандарт Arduino [23].

Это первое устройство с архитектурой Intel®, спроектированное таким образом, чтобы обеспечивать полную аппаратную и программную совместимость с платами расширения Arduino. Разъемы для подключения шилдов расположены точно так же, как в Arduino Uno R3, поэтому все пины этих разъемов - цифровые выходы 0-13 (и смежные с ними AREF и GND), аналоговые входы 0-5, разъем питания, разъем ICSP, выходы порта UART (0 и 1) - расположены на платах идентично, в соответствии с распиновкой Arduino 1.0 [24].

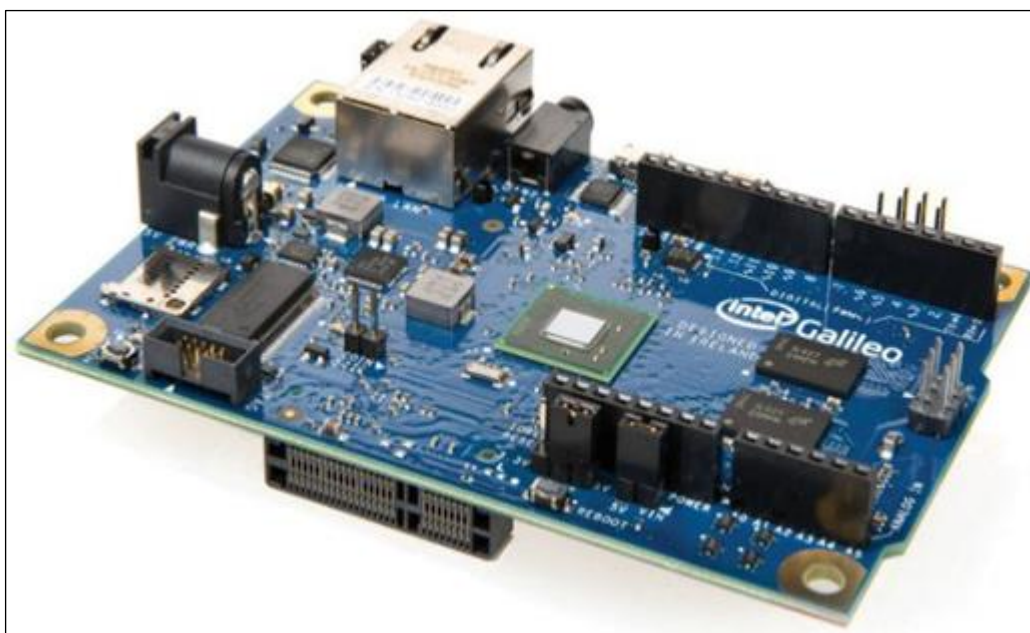


Рисунок 2.3 – Intel Galileo

Несмотря на то, что рабочее напряжение Galileo составляет 3,3 В, устройство позволяет работать как с 3,3 В-, так и с 5 В-платами расширения. Для поддержки плат расширения, рассчитанных на 5 В, на печатной плате устройства предусмотрен специальный джампер, который позволяет включить преобразование уровней логического сигнала на цифровых выводах устройства к напряжению 5 В. В замкнутом положении (по умолчанию) преобразование активно, что позволяет Galileo работать с 5 В-шилдами для Arduino Uno. Соответственно, для переключения уровня логического сигнала на 3,3 В достаточно просто разомкнуть джампер.

Ну и конечно, Galileo программно совместим со средой разработки Arduino IDE, которая существенно упрощает процесс разработки. Помимо аппаратной и программной совместимости с Ардуино, Galileo также поддерживает ряд стандартных интерфейсов и портов ввода-вывода, которые обычно можно встретить в ПК: полноразмерный слот mini-PCI Express, порт Ethernet (100 Mb), разъем Micro-SD, последовательный порт RS-232, USB Host-

порт, USB Client-порт, а также флеш-память NOR объемом 8 МБ. Эти особенности позволяют существенно расширить сферы применения устройства по сравнению со стандартными шилдами Ардуино [25].

Данная платформа даёт большое преимущество программистам тем, что способна производить сложные программные вычисления. Galileo позволяет создавать собственные проекты для их дальнейшей реализации.

Рассмотрим одну из моделей Intel Galileo по выбранным ранее критериям сравнения платформ:

- одноплатный x86 процессор Intel Quark X1000 с частотой 400 МГц с решением сверхнизкого потребления;

- память 16 Кб L1 кеша и 512 Кб памяти ESRAM и контроллер памяти DDR3;

- FastEthernet 10/100, дающий стабильную связь по Интернету;

- два USB-порта, работающие в режимах USBclient и USBhost;

- 6-пиновый UART разъём, предназначенный для организации связи с другими цифровыми устройствами;

- поддержка microSD-карт для использования возможности операционной системы Linux, разработанной для данной модели;

- языки разработки могут быть разнообразными, учитывая использование операционной системы, но возможны ограничения, так как она разработана только для данного мини-компьютера;

- поддержка протоколов может быть организована в зависимости от применения данной машины, так как есть возможность осуществлять поддержку нескольких протоколов;

- управление устройствами может осуществляться, как напрямую, путём прямого машинного кода, так и через различные приложения, если их можно установить на операционную систему;

- скорость развёртывания решения довольно высока, так как возможно развёртывание единой операционной системы сразу на нескольких машинах одновременно. Данная модель может использоваться, как промежуточное устройство между периферией и центральной машиной, так и выступать в роли самой центральной машины (сервера). Ограничения могут быть лишь в малой производительной мощности работы процессора;

- цены на данную модель высоки, что может сказаться на количестве закупаемых устройств и так как производителем является фирма Intel весьма возможны трудности в поставке.

## **2.5 Аппаратная платформа Tibbo Project System**

Впервые концепция платформы Tibbo Project System (TPS) от тайваньской компании Tibbo Technology Inc появилась в 2014 году. Данная концепция, представленная на рисунке 2.4, предназначена для устройств автоматизации и состоит из основной платы (TPP), элементов ввода/вывода (Tibbit) и корпуса (TPB).

Основная плата – это главный программируемый печатный элемент, на котором заранее распределены все необходимые компоненты для быстрого начала работы: микросхемы аппаратного сброса reset, программируемый чип, обвязка питания, программируемая кнопка MD, светодиоды, звуковой индикатор. Язык программирования использует собственную среду разработки TIDE (Tibbo Integrated Development Environment) и представлен в дух вариантов – Tibbo Basic и Tibbo C. Оба языка являются объектно-ориентированными [26].

Проектирование любого устройства (или выбор ПЛК) начинается с определения его будущего функционала. Помимо прочего, на данном этапе определяются требования по каналам ввода/вывода. В системе TPS за эти функции отвечают Тиббиты (англ. Tibbits) – это простые электронные схемы, выполненные в виде небольших корпусных блоков. Внешне они напоминают кубики конструктора «Лего» для установки на печатной плате (именно установки, а не пайки).

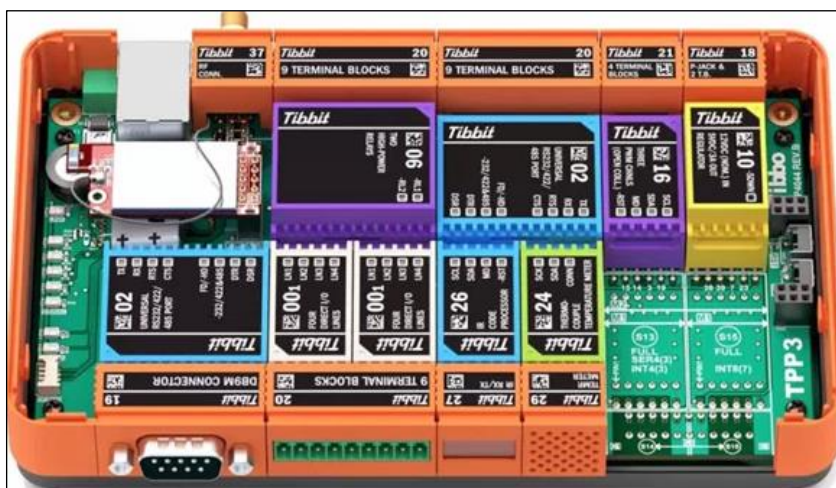


Рисунок 2.4 – Платформа TBS

По форм-фактору тиббиты бывают одинарные (4 вывода), двойные (8 выводов) и гибридные, где функциональный модуль и разъем объединены в общий корпус [27].

Принцип действия очень прост. С одной стороны, модуль имеет контакты для цифровой связи с микроконтроллером по КМОП (CMOS) логике. С другой стороны, вывод для коммуникации с внешними устройствами (например, линии Rx, Tx интерфейса RS232). Для удобства монтажа используются специальные разъемы.

Модули ввода/вывода представлены в виде удобно спроектированных устройств с заложенными заранее функциями: ЦАП, вход, АЦП, ШИМ, реле, порт RS232, Wiegand, модем GPRS, процессор PIC и т.д. Преимущество данных модулей – это простота их подключения, на основной плате разведены все дорожки и места для устройств.

Инженеры компании Tibbo пошли дальше всех в разработке мини-компьютеров, разработав и выпустив прочные ТРВ-корпуса, куда можно

поместить основную плату и модули ввода/вывода. Таким образом, имея основную плату, модули ввода/вывода и корпуса, можно получить производительное устройство автоматизации [26].

Рассмотрим платформу по выбранным ранее критериям сравнения платформ:

- микроконтроллер CMOS;
- интернет-порты можно устанавливать или убирать в зависимости от целей и задач;
- USB-порты опционально;
- интерфейс ввода/вывода общего назначения (GPIO), подключающийся опционально и позволяющий менять интерфейсы;
- языки разработки ограничены и являются проприетарными;
- средства разработки IoT-приложений представлены собственной средой разработки;
- поддержка протоколов IoT возможна в зависимости от задач и используемых модулей;
- управление устройствами осуществляется при помощи различных модулей;
- скорость развёртывания решения высока, так как возможно заранее сконфигурировать устройство и его действия;
- цена на данные платы, модули и корпуса очень высока, так как является сложным в производстве и возможны трудности в поставке.

## **2.6 Аппаратная платформа Orange Pi PC**

Orange Pi – это мини-компьютер, оснащённый мощным четырёхъядерным процессором AllWinner H3, имеет регулируемую тактовую частоту до 1.6 ГГц. Графический процессор (GPU) Mali-400MP2 (600 МГц), поддерживает воспроизведение 4K P30 видео. Объем ОЗУ 1 ГБ DDR3. Установить ОС и хранить данные можно на microSD карту памяти до 64 ГБ. Подключиться к интернету можно по LAN. Так же есть 3 полноразмерный USB 2.0 порта и один mini-USB с поддержкой OTG. Есть микрофон, 3.5 джек для аудио выхода, ИК-приемник, контактная площадка UART [28].

Для питания платы рекомендуется использовать сетевой адаптер с выходным напряжением 5 В и силой тока 2 А и больше. Питание платы через USB-OTG не поддерживается. Монитор подключается к выходу HDMI, через MIPI-CSI слот можно подключить камеру с разрешением до 5 Мп. Orange Pi PC имеет 40 программируемых контактов общего назначения (GPIO) [29].

Платформа Orange Pi использует популярные операционные системы: Android, Ubuntu, Lubuntu, Debian, Bananian, Raspbian, Windows 10 IoT.



Рисунок 2.5 – Orange Pi PC Plus

Рассмотрим одну из популярных моделей Orange Pi PC по выбранным ранее критериям сравнения платформ:

- процессор H3 Quad-core Cortex-A7 H.265/HEVC 4K с тактовой частотой в обычном режиме – 1,2 ГГц и в турборежиме – 1,6 ГГц и с поддержкой 4K видео;
- ОЗУ составляет 1 Гб DDR3 (общая с GPU) и 8 Gb eMMC flash, позволяющий хранить данные без внешних устройств;
- интернет-порты представлены 10/100 FastEthernet и опциональной Wi-Fi антенной, работающей по принципу «подключил и пользуйся»;
- 3 хост порта USB2.0, 1 microUSB- OTG порт;
- 40-пиновый интерфейс ввода/вывода общего назначения (GPIO), позволяющий подключить различные датчики и исполнительные устройства, осуществлять питание микрокомпьютера, гребёнка для подключения UART;
- оснащён портом HDMI для вывода изображения на монитор, разъёмом 3,5 мм для подключения наушников и микрофоном;
- обладает собственным графическим процессором ARM Mali-400MP2 с частотой 600 МГц, поддерживает воспроизведение, кодирование и декодирование различных потоков видео;
- возможность использования microSD карт через специальный порт для использования ОС и хранения данных;
- языки разработки могут быть различными, в зависимости от задач, так как данная модель является мини-компьютером;
- управление устройствами может осуществлять, как напрямую, путём прямого машинного кода, так и через различные приложения;
- скорость развёртывания решения довольно высока, т. к. возможно развёртывания единой операционной системы сразу на нескольких машинах одновременно. Данная модель может использоваться, как промежуточное устройство между периферией и центральной машиной, так и выступать в роли самой центральной машины (сервера). Могут быть лишь ограничения в большом количестве обрабатываемых данных;



- цены на данные модели низкие, либо средние, что удешевляет или удорожает проекты и т. к. основное производство данной модели осуществляется в КНР, то поставки могут быть быстрыми и дешёвыми.

В таблице 2.1 приведены основные характеристики рассмотренных аппаратных платформ.

Как это следует из таблицы 2.1, компьютер Orange Pi имеет в 1,5 раза большую вычислительную производительность, чем его ближайший конкурент Raspberry Pi 2 и сопоставим по вычислительной производительности с Raspberry Pi 3, но при этом гораздо дешевле, что позволит обработать гораздо больше сообщений, принимаемых от периферийных устройств. Компьютеры Raspberry не имеют встроенной памяти и операционную систему необходимо загружать на SD-карту. Но многие micro SD карты часто страдают от сниженной скорости обработки данных при операциях ввода/вывода, что негативно сказывается на общей производительности компьютера. Orange Pi имеют оперативную память 1 Гб 3-его поколения, которая необходима для хранения выполняемого машинного кода, по сравнению с Raspberry Pi. Orange Pi PC имеет не только слот для подключения micro-SD карт, но и 8GB eMMC встроенной памяти, что позволяет позже перенести операционную систему с microSD карты непосредственно на мини-компьютер, также имеются порты для подключения различных внешних устройств [13].

Интерфейс ввода/вывода более развит и разнообразен, так как он является интерфейсом общего назначения (GPIO) и поддерживает интерфейсы, типа UART, PWM, CAN и другие.

Orange Pi поддерживает многие популярные операционные системы (Windows, Ubuntu, Linux и др.), что позволит делать из него серверную машину, полнофункциональный компьютер, игровую приставку, медиacentр, торрент-машину [13].

Сопоставительный анализ представленных вариантов платформ по выполняемым функциям и заложенным по умолчанию опциям, а также по их стоимости, проведенный с использованием таблицы 2.1, позволил выбрать платформу Orange Pi, представленную на рисунке 5, в качестве наиболее подходящего варианта для построения центральной машины. Эта машина будет обрабатывать поступающие к ней данные от остальных устройств и датчиков и на основе результатов обработки полученной информации принимать решения, согласно заложенной программы. Аппаратная платформа в результате будет отвечать всем современным требованиям, предъявляемым к технологиям Интернета вещей [13].

Таблица 2.1 – Основные характеристики аппаратных платформ

Модели	Процессор	Память	Связь	USB-порты	Интерфейс ввода/вывода	Видео выход	Аудио вход/выход	Цена
Arduino	МК ATmega328 частота: 16 МГц	Флеш-память: 32 Кб ОЗУ :2 Кб EEPROM: 1 Кб			Цифровые Входы/Выходы: 14 Аналоговые входы: 6			3650
Raspberry Pi	Broadcom BCM2837 B0, A53 (ARMv8) 64-бит SoC @ 1,4 ГГц	1 Гб LPDDR 2 SDRAM	2,4 ГГц и 5 ГГц IEEE 802.11 b / g / n / ac Wi-Fi, Bluetooth 4.2, BLE. Гигабитный Ethernet через USB 2.0	4 x 2.0	разъем 40-контактный 2,54 мм: 2x20. 27 контактов GPIO, а также линии питания +3,3 В, +5 В и GND	1 x полноразмерный порт HDMI, порт дисплея MIPI DSI, порт камеры MIPI CSI	4-полюсный стерео выход и композитный видеопорт	28250
Intel Galileo	Intel Quark X1000 ( 400 МГц, 32-бит )	16 Кб (кеш), 512 Кб (SRAM), 256 Мб (DRAM)	IEEE 802.3 10/100 Мбит/сек	1 x 2.0, Micro	цифровые порты ввода/вывода: 20 шт аналоговые порты ввода/вывода с поддержкой ШИМ: 6 шт			33000

Продолжение Таблицы 2.1

Модели	Процессор	Память	Связь	USB-порты	Интерфейс ввода/вывода	Видео выход	Аудио вход/выход	Цена
Tibbo Project System	T1000 с тактовой частотой 88МГц	1МБ flash-память 1МБ 2КБ EEPROM	10/100 Base-T Ethernet-порт с разъемом RJ45		47 линий ввода/вывода в 7 группах (14 сокетов для модулей + 14 сокетов для коннекторов)			25000
Orange Pi	Четырехъядерный процессор Allwinner H3 Cortex A7 @ 1.6 ГГц с графическим процессором ARM Mali-400MP2 до 600 МГц	ОЗУ: 1 Гб DDR3	0/100M Ethernet, 11 b/g/n WiFi с внешней антенной	3 x порта USB 2.0 1 x micro USB порт OTG microSD карт (до 64 Гб)	40-контактный разъем Raspberry Pi совместимый с 28 GPIOs, UART, I2C, SPI, PWM, CAN, I2S, SPDIF, LRADC, ADC, LINE-IN, FM-IN и HP-IN	HDMI с поддержкой CEC и HDCP, порт AV	HDMI, порт AV, встроенный микрофон	16500



### **3 Создание имитационной модели для проведения исследования**

#### **3.1 Аппаратная часть**

На основе анализа микроконтроллеров, проведенного в разделе 2, в качестве центральной машины был сделан выбор в пользу линейки моделей Orange Pi [13]. На данный момент существует несколько различных вариантов данного мини-компьютера, которые отличаются опциональными модулями, некоторыми характеристиками и ценами. Так как основное производство данных моделей осуществляется в Китае, то поставки будут быстры и дешёвы.

Для создания имитационной модели понадобится следующее:

- микрочип, процессор, способный исполнять машинные инструкции (код программ);
- память, встроенная для использования внутренних возможностей модели;
- интернет-порты (Ethernet, Wi-Fi) для последующих возможных обновлений без физического присутствия исследователя, автономности работы;
- USB-порты;
- интерфейс ввода/вывода общего назначения (GPIO), позволяющий подключить различные датчики и исполнительные устройства;
- видео и звук (возможность воспроизведения);
- мультимедиа (декодирование различных вариантов сжатия видео), дающий возможность передавать потоковое или ранее записанное видео;
- поддержка SD-карт с возможностью использования и осуществления смены различных вариантов операционных систем;
- языки разработки, с помощью которых можно сделать гибкий проект, работающий с различными системами;
- средства разработки IoT-приложений;
- поддержка протоколов IoT;
- управление устройствами;
- скорость развёртывания решения, которая позволяет быстро и профессионально осуществлять проекты;
- приемлемая модель ценообразования и способы поставки решения.

В таблице 3.1 приведены различные устройства. Исходя из вышеперечисленных требований, можно выбрать наиболее подходящую модель мини-компьютера Orange Pi [29].

Одной из важных составляющих является процессор, используемый на платах мини-компьютеров. Процессоры представлены в трёх вариантах: AllWinner H5, AllWinner H2+, AllWinner H3.

AllWinner H5 является системой на кристалле (SoC) Allwinner H5 (sun50i) рассчитана на ТВ-приставки с поддержкой 4K-видео. Изделие получило четыре вычислительных ядра ARM Cortex-A53 с поддержкой 64-битных инструкций, аппаратное ускорение Java. AllWinner H2+ - это система из четырёх процессорных ядер Cortex-A7 и видео ядра Mali 400MP2 частотой 600 МГц и

выше. Поддерживаются ОЗУ стандартов LPDDR2, LPDDR3, DDR3, DDR3L, а также ПЗУ SD/eMMC/tSD/fSD/efSD [30].

AllWinner H3 представляет собой систему на кристалле (SoC) предназначена для использования в ТВ-приставках с поддержкой 4К-видео. Изделие получило четыре вычислительных ядра ARM Cortex-A7 на 32 бита. Тактовая частота 1.2 ГГц в нормальном режиме и 1.6 ГГц в турбо режиме. Кэш память первого уровня (L1 cache) по 32 КБ для инструкций и 32 КБ для данных на каждое ядро, кэша второго уровня (L2 cache) — 512 КБ. Графический двухъядерный процессор ARM Mali-400MP2 с частотой 600 МГц поддерживает OpenGL ES 2.0 OpenCL 1x, DX9\_3, OpenVG.

В данном сравнении большими преимуществами обладают процессоры AllWinner H5 и AllWinner H3. Фактически данные системы являются похожими, за исключением некоторых возможностей аппаратного ускорения и поддержек видеокодеков и т.д.

Таблица 3.1 – Сравнение моделей мини-компьютеров Orange Pi

Модель	CPU	Wi-Fi	LAN	SAT A	eMMC	RAM	Цена, тг
Pi PC 2	AllWinner H5 64 Бита	Нет	1000 Мб/сек	Нет	Нет	1 Гб	9880
Pi Plus 2E	AllWinner H3	Есть	1000 Мб/сек	Нет	16 Гб	2 Гб	18200
Pi Zero	AllWinner H2+	Есть	100 Мб/сек	Нет	Опционально	256/512 Мб	4700/6000
Pi PC Plus	AllWinner H3	Есть	100 Мб/сек	Нет	8 Гб	1 Гб	16500
Pi Lite	AllWinner H3	Есть	Нет	Нет	Нет	0,5 Гб	7100
Pi Plus 2	AllWinner H3	Есть	1000 Мб/сек	Есть	8 Гб	2 Гб	22000
Pi Plus	AllWinner H3	Есть	1000 Мб/сек	Есть	8 Гб	1 Гб	18200
Pi PC	AllWinner H3	Нет	100 Мб/сек	Нет	Нет	1 Гб	8200

Четыре модели обладают встроенной памятью eMMC и одна модель опционально, что может увеличить её конечную стоимость. Данная память даёт преимущество в виде хранения данных непосредственно на мини-компьютере, а также предоставляет возможность переноса операционной системы из microSD на сам мини-компьютер, что ускоряет процесс загрузки самой операционной системы и позволяет хранить данные на внешних носителях [13].

Все модели, кроме одной, обладают Ethernet-портом для выхода в Интернет с пропускной способностью 1000 Мб/сек (модель Orange Pi PC – 100 Мб/сек). Также шесть моделей оснащены встроенной Wi-Fi антенной, что является преимуществом, так как позволяет осуществлять передачу данных путём использования беспроводных соединений и даёт возможность подключения других устройств по Wi-Fi.

Все модели оснащены интерфейсом ввода/вывода общего назначения (GPIO), что значительно расширяет список подключаемых устройств к платформе. Данный интерфейс используется для связи и чтения информации от различных внешних датчиков (ИК, видео, температура, ориентации по 3 осям, ускорения), а также для управления двигателями постоянного тока (используя ШИМ), аудио, ЖК-дисплеями, или светодиодами для индикации состояния периферийных устройств [13].

Все модели, кроме двух (Pi Plus и Pi Plus 2) оснащены портом для использования microSD карты, что увеличивает возможности хранения данных и применения различных операционных систем путём смены карты.

Языки и средства разработки, поддержка протоколов IoT, которые можно будет применять для создания проектов, будут зависеть от использования операционной системы в качестве основной для центральной машины. В основном все модели используют одни и те же операционные системы. Выбор операционной системы определяется исходя из целей использования платформы, наличия десктопного или серверного варианта операционной системы, поддержки данной системы [13].

Скорость развёртывания решений на данных платформах довольно высока, так как есть возможность устанавливать несколько операционных систем одновременно на нескольких устройствах и легко вносить изменения, варьируя параметры для решения поставленных задач [13].



Рисунок 3.1 – Orange Pi PC Plus (вид сверху)

Таким образом, исходя из требований, предъявляемых к аппаратной платформе, предлагаемых функций, аппаратного оснащения, показанного на

рисунке 3.3, заложенных по умолчанию опций и цен выбор для реализации имитационной модели был сделан в пользу модели Orange Pi PC Plus, представленной на рисунках 3.1 и 3.2.



Рисунок 3.2 – Orange Pi PC Plus (вид сбоку)

Таблица 3.2 – Характеристики Orange Pi PC Plus

Аппаратная единица	Оснащение
сокет	Четырехъядерный процессор Allwinner H3 Cortex A7 @ 1.6 ГГц с графическим процессором ARM Mali-400MP2 до 600 МГц
оперативная память	1 Гб DDR3
устройства хранения	8GB eMMC flash слот micro SD карт (до 64 Гб)
видео выход	HDMI с поддержкой CEC и HDCP, порт AV
аудио вход/выход	HDMI, порт AV, встроенный микрофон
связь	10/100M Ethernet, 11 b/g/n WiFi с внешней антенной
USB	3 x хост порта USB 2.0, 1 x micro USB порт OTG
камера	интерфейс CSI
расширения	40-контактный разъем Raspberry Pi совместимый с 28 GPIOs, UART, I2C, SPI, PWM, CAN, I2S, SPDIF, LRADC, ADC, LINE-IN, FM-IN и HP-IN;
электропитание	5 В/2 А
размеры	38 грамм

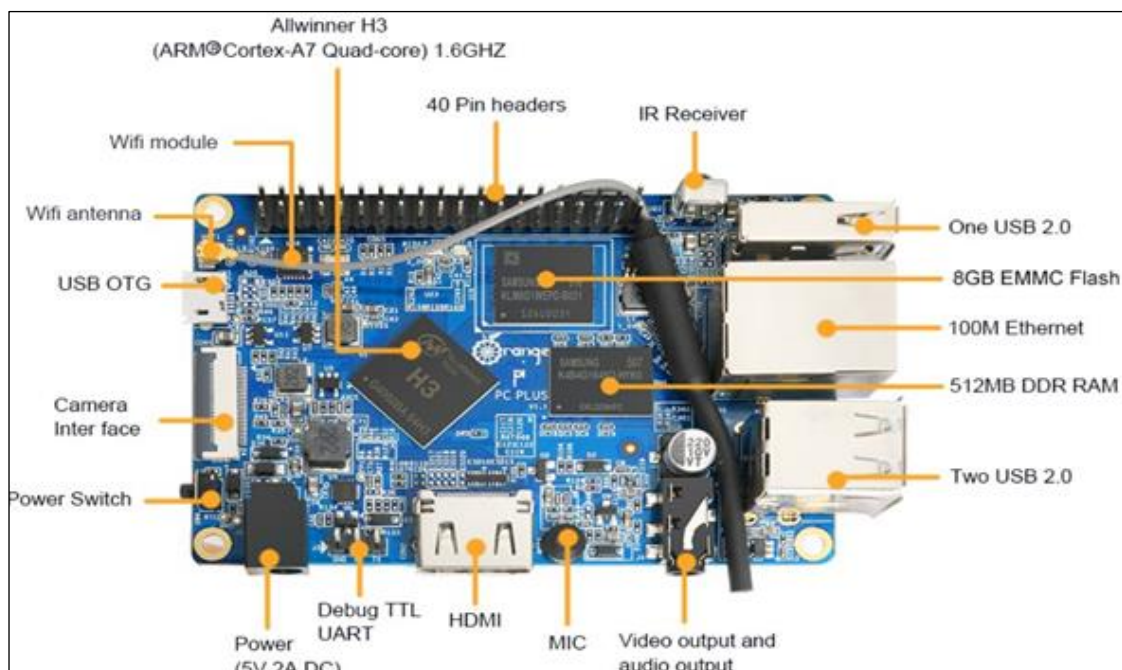


Рисунок 3.3 – Изображение элементов в графическом виде

### 3.2 Операционная система

Ввиду большой популярности и увеличения продаж мини-компьютеров различных производителей и резкого роста использования данных устройств соответственно растёт количество программного обеспечения и их различные сборки для мини-компьютеров. Программные платформы разрабатываются как самими компаниями-производителями устройств, так и сторонними организациями, и пользователями. Следовательно, необходимо осуществить выбор операционной системы для Orange Pi PC Plus. Операционных системы и их прошивок очень много, так как все они являются бесплатными и каждый может сделать собственную программную платформу под свои задачи. На данный момент существует четыре официальных и поддерживаемых вариантов операционных систем для модели мини-компьютера, которые представлены в таблице 3.3 [13].

Таблица 3.3 – Официально поддерживаемые операционные системы

Название	Десктоп/сервер	Комментарий
Armbian	+/+	Рекомендуемый из Linux based
Android	+/-	Официальная сборка от Orange Pi
Lubuntu	+/+	Официальная сборка от Orange Pi
OpenELEC	+/-	Регулярно обновляемая сборка от ELEC

Все операционные системы можно получить, перейдя по официальным ссылкам разработчиков и производителей, и все они являются открытым программным обеспечением, что является преимуществом. Процедура записи

образов на microSD карту очень проста и использует интуитивно простые программы.

Операционные системы Android и OpenELEC созданы под конкретные задачи. OpenELEC создавалась для стабильной работы медиаплеера Kodi, который позволяет смотреть видео из Интернета (Youtube), настроить и использовать IPTV, прослушивать музыку и т. д. [31]. ОС Android является более расширенной по сравнению с OpenELEC, но все же она более конкретизирована, что уменьшает возможность её использования для гибких задач [32]. Обе операционные системы можно использовать в качестве домашней ТВ-приставки.

Операционная система Lubuntu является легковесной и энергоэффективной производной от Ubuntu дистрибутивом Linux с малым потреблением ресурсов [33]. В качестве среды рабочего стола используется LXQt, ранее использовался LXDE. Он подходит для нетбуков, портативных устройств и старых персональных компьютеров. Стабильным вариантом на данный момент можно назвать Lubuntu 18.04 LTS, который использует рабочий стол LXDE, хотя продолжает переход на рабочий стол LXQt, а также имеет отдельный выпуск Lubuntu Next. Системные требования для Lubuntu 18.04 LTS включают в себя как минимум 1 ГБ ОЗУ, хотя для лучшей производительности рекомендуется использовать 2 ГБ, и процессор Pentium 4, Pentium M или AMD K8 CPU или новее. Требования к ОЗУ увеличились с Lubuntu 18.04.

Операционная система Armbian представляет собой популярный облегченный дистрибутив Linux, доступный для самых разных устройств ARM: Orange Pi, Banana Pi, Odroid и т.д., который основан на Ubuntu и/или Debian. Каждая система компилируется, собирается и оптимизируется с помощью Armbian Build Tools, которая имеет мощные инструменты для сборки и разработки программного обеспечения для создания пользовательских сборок. Armbian доступен в виде образов, скомпилированных с нуля, на официальном сайте. Образы уменьшены до фактического размера данных и автоматически изменяются при первой загрузке. Адаптер Ethernet с сервером DHCP и SSH готов к порту по умолчанию (22), что позволяет уже с нуля использовать подключение к Интернету или подключаться к мини-компьютеру при помощи протокола SSH. Беспроводной адаптер с DHCP по умолчанию настроен, но отключен. Присутствует возможность использования armbian-config для подключения к маршрутизатору или создания точки доступа. Таким образом, выбор операционной системы был сделан в пользу Armbian [34].

Данная операционная система проста и интуитивно понятна. Прежде всего Armbian подходит под требования IoT-контроллера, первый запуск ОС прост и требует минимум усилий и вспомогательных устройств, система гибкая и позволяет очень быстро и оперативно вносить различные изменения. Также Armbian уже имеет ряд предустановленных драйверов, таких как 1-Wire и др [13].

### **3.3 Подготовка к работе**



Для возможности удалённого подключения к мини-компьютеру необходимо настроить клиент и сервер защищенного терминала (secure shell) в операционной системе и начать использование. SSH является специальным сетевым протоколом, который позволяет получать удаленный доступ к компьютеру с большой степенью безопасности соединения.

В основном, SSH реализован в виде двух приложений — SSH-сервера и SSH-клиента. В большинстве случаев используется свободная реализация клиента и сервера SSH — OpenSSH. При подключении клиент проходит процедуру авторизации у сервера и между ними устанавливается зашифрованное соединение. OpenSSH сервер может работать как с протоколом ssh1, так и с протоколом ssh2. В настоящее время протокол ssh1 считается небезопасным, поэтому его использование крайне не рекомендуется. В данном случае будет использоваться протокол ssh2 [35].

Для установки необходимо открыть программу Terminal и ввести команду, представленную на рисунке 3.4, для установки OpenSSH сервера.

```
aman@orangeipcplus:~$ sudo apt install ssh
[sudo] password for aman:
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following packages were automatically installed and are no longer required:
 fonts-liberation2 fonts-opensymbol gir1.2-gst-plugins-base-1.0
 gir1.2-gstreamer-1.0 gir1.2-gudev-1.0 gir1.2-udisks-2.0
```

Рисунок 3.4 – Команда установки OpenSSH

Далее необходимо внести изменения в файле конфигурации, который находится в /etc/ssh/ssd\_config и показан на рисунке 3.5.

Теперь при помощи OpenSSH можно осуществлять подключение с других устройств, зная IP-адрес мини-компьютера. Для этого можно воспользоваться программой SecureCRT, которая установлена на компьютере под управлением операционной системы Windows. Сама возможность подключения к мини-компьютеру через программу SecureSRT показана на рисунке 3.6.

```

File Edit View Search Terminal Help
GNU nano 2.9.3 /etc/ssh/sshd_config

# $OpenBSD: sshd_config,v 1.101 2017/03/14 07:19:07 djm Exp $

# This is the sshd server system-wide configuration file.  See
# sshd_config(5) for more information.

# This sshd was compiled with PATH=/usr/bin:/bin:/usr/sbin:/sbin

# The strategy used for options in the default sshd_config shipped with
# OpenSSH is to specify options with their default value where
# possible, but leave them commented.  Uncommented options override the
# default value.

#Port 22
#AddressFamily any
#ListenAddress 0.0.0.0
#ListenAddress ::

#HostKey /etc/ssh/ssh_host_rsa_key
#HostKey /etc/ssh/ssh_host_ecdsa_key
File '/etc/ssh/sshd_config' is unwritable
^G Get Help ^O Write Out ^W Where Is ^K Cut Text ^J Justify ^C Cur Pos
^X Exit ^R Read File ^\ Replace ^U Uncut Text ^T To Spell ^_ Go To Line

```

Рисунок 3.5 – Конфигурационный файл ssh

```

Last login: wed Jun 3 21:21:32 2020 from 192.168.1.222
aman@orangeipcp1us:~$
aman@orangeipcp1us:~$
aman@orangeipcp1us:~$
aman@orangeipcp1us:~$
aman@orangeipcp1us:~$ ifconfig
enp0s3: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
inet 192.168.1.200 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.1.255
inet6 fe80::fcfc:7471:eae2:903d prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
ether 08:00:27:89:57:c8 txqueuelen 1000 (Ethernet)
RX packets 5529 bytes 7918473 (7.9 MB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 1707 bytes 179428 (179.4 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
RX packets 85 bytes 7802 (7.8 KB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 85 bytes 7802 (7.8 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

aman@orangeipcp1us:~$ █

```

Рисунок 3.6 – Подключение при помощи программы SecureCRT

### 3.4 Подключение датчика температуры DS18B20 и анализатора газов MQ-135

Цифровой измеритель температуры DS18B20 представлен на рисунке 3.7, с разрешением преобразования 9 - 12 разрядов и функцией тревожного сигнала контроля за температурой. Параметры контроля могут быть заданы



пользователем и сохранены в энергонезависимой памяти датчика. DS18B20 обменивается данными с микроконтроллером по однопроводной линии связи, используя протокол интерфейса 1-Wire. В ОС Armbian уже есть готовый к использованию драйвер 1-Wire, нужно только узнать назначенный порт. Питание датчик может получать непосредственно от линии данных, без использования внешнего источника. В этом режиме питание датчика происходит от энергии, запасенной на паразитной емкости. У каждой микросхемы DS18B20 есть уникальный серийный код длиной 64 разряда, который позволяет нескольким датчикам подключаться на одну общую линию связи. То есть, через один порт микроконтроллера можно обмениваться данными с несколькими датчиками, распределенными на значительном расстоянии. Режим крайне удобен для использования в системах экологического контроля, мониторинга температуры в зданиях, узлах оборудования [36]. Преимуществом данного датчика является тот факт, что в операционной системе Armbian уже предустановлена библиотека для работы с данными устройствами, то есть нужно только подключить устройство и немного изменить файл конфигурации [37].

Характеристики:

- диапазон измеряемых температур:  $-55...+125$  °C;
- точность:  $\pm 0,5$ °C (в пределах  $-10...+85$  °C);
- время получения данных: 750 мс при 12-битном разрешении; 94 мс при 9-битном разрешении;
- напряжение питания: 3–5,5 В;
- потребляемый ток при бездействии: 750 нА;
- потребляемый ток при опросе: 1 мА.



Рисунок 3.7 – датчик температуры DS18B20

Как уже говорилось выше ОС Armbian имеет драйвер 1-Wire, его только необходимо настроить [34].

В данной операционной системе присутствует файл «script.bin».

«script.bin» — главный конфигурационный файл ядра использующийся при загрузке ОС на платах Orange Pi и остальных, базирующихся на sunxi. Это

скомпилированный бинарный файл, внесение правок в который — невозможно [34].

Файл создается при помощи утилиты **flex2bin** из набора **sunxi-tools** из текстового файла имя `файла.fex`. В разделе «w1\_para» файла «script.bin» можно отключать или включать драйвер 1-Wire, а также узнать к какому порту нужно подключать устройства по 1-Wire. На данном мини-компьютере драйвер включен и порт подключения является 20-ым. В данном случае `gpio` – это номер пина в колонке BCM, показанной на рисунке 3.8 [34].

```
[w1_para]
w1_used = 1
gpio = 20
```

Рисунок 3.8 – Раздел «w1\_para»

Чтобы узнать физический номер порта необходимо выполнить команду «`gpio readall`». Исходя из рисунка 3.9, видно, что 20-ому пину `gpio` в разделе «w1\_para» в файле «script.bin» соответствует 37-ой физический пин [34].

Следом нужно в файле, находящемся в пути `/etc/modules` раскомментировать строки, как показано на рисунке 3.10: «w1-sunxi», «w1-gpio», «w1-therm» [34].

```
root@orangepipcplus:~# gpio readall
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| BCM | wPi | Name | Mode | V | Physical | V | Mode | Name | wPi | BCM |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 12 | 8 | 3.3v | | | 1 | 2 | | | 5v | | |
| 11 | 9 | SDA.0 | ALT5 | 0 | 3 | 4 | | | 5V | | |
| 6 | 7 | SCL.0 | ALT5 | 0 | 5 | 6 | | | 0v | | |
| 6 | 7 | GPIO.7 | ALT3 | 0 | 7 | 8 | 0 | ALT3 | TxD3 | 15 | 13 |
| | | 0v | | | 9 | 10 | 0 | ALT3 | RxD3 | 16 | 14 |
| 1 | 0 | RxD2 | ALT3 | 0 | 11 | 12 | 0 | ALT3 | GPIO.1 | 1 | 110 |
| 0 | 2 | TxD2 | ALT3 | 0 | 13 | 14 | | | 0v | | |
| 3 | 3 | CTS2 | ALT3 | 0 | 15 | 16 | 0 | ALT3 | GPIO.4 | 4 | 68 |
| | | 3.3v | | | 17 | 18 | 0 | ALT3 | GPIO.5 | 5 | 71 |
| 64 | 12 | MOSI | ALT4 | 0 | 19 | 20 | | | 0v | | |
| 65 | 13 | MISO | ALT4 | 0 | 21 | 22 | 0 | ALT3 | RTS2 | 6 | 2 |
| 66 | 14 | SCLK | ALT4 | 0 | 23 | 24 | 0 | ALT4 | CE0 | 10 | 67 |
| | | 0v | | | 25 | 26 | 0 | ALT3 | GPIO.11 | 11 | 21 |
| 19 | 30 | SDA.1 | ALT4 | 0 | 27 | 28 | 0 | ALT4 | SCL.1 | 31 | 18 |
| 7 | 21 | GPIO.21 | ALT3 | 0 | 29 | 30 | | | 0v | | |
| 8 | 22 | GPIO.22 | ALT3 | 0 | 31 | 32 | 0 | ALT3 | RTS1 | 26 | 200 |
| 9 | 23 | GPIO.23 | ALT3 | 0 | 33 | 34 | | | 0v | | |
| 10 | 24 | GPIO.24 | ALT3 | 0 | 35 | 36 | 0 | ALT3 | CTS1 | 27 | 201 |
| 20 | 25 | GPIO.25 | IN | 1 | 37 | 38 | 0 | ALT3 | TxD1 | 28 | 198 |
| | | 0v | | | 39 | 40 | 0 | ALT3 | RxD1 | 29 | 199 |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| BCM | wPi | Name | Mode | V | Physical | V | Mode | Name | wPi | BCM |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
root@orangepipcplus:~#
```

Рисунок 3.9 – Результат команды «gpio readall»

```

8189fs
w1-sunxi
w1-gpio
w1-therm
#gc2035
#vfe_v4l2
#sunxi-cir

```

Рисунок 3.10 – Файл «modules»

Далее необходимо подключать датчики, как показано на рисунке 3.11, к мини-компьютеру. Подключение датчиков к мини-компьютеру осуществляется очень легко и быстро при помощи коннекторов BLS [36].

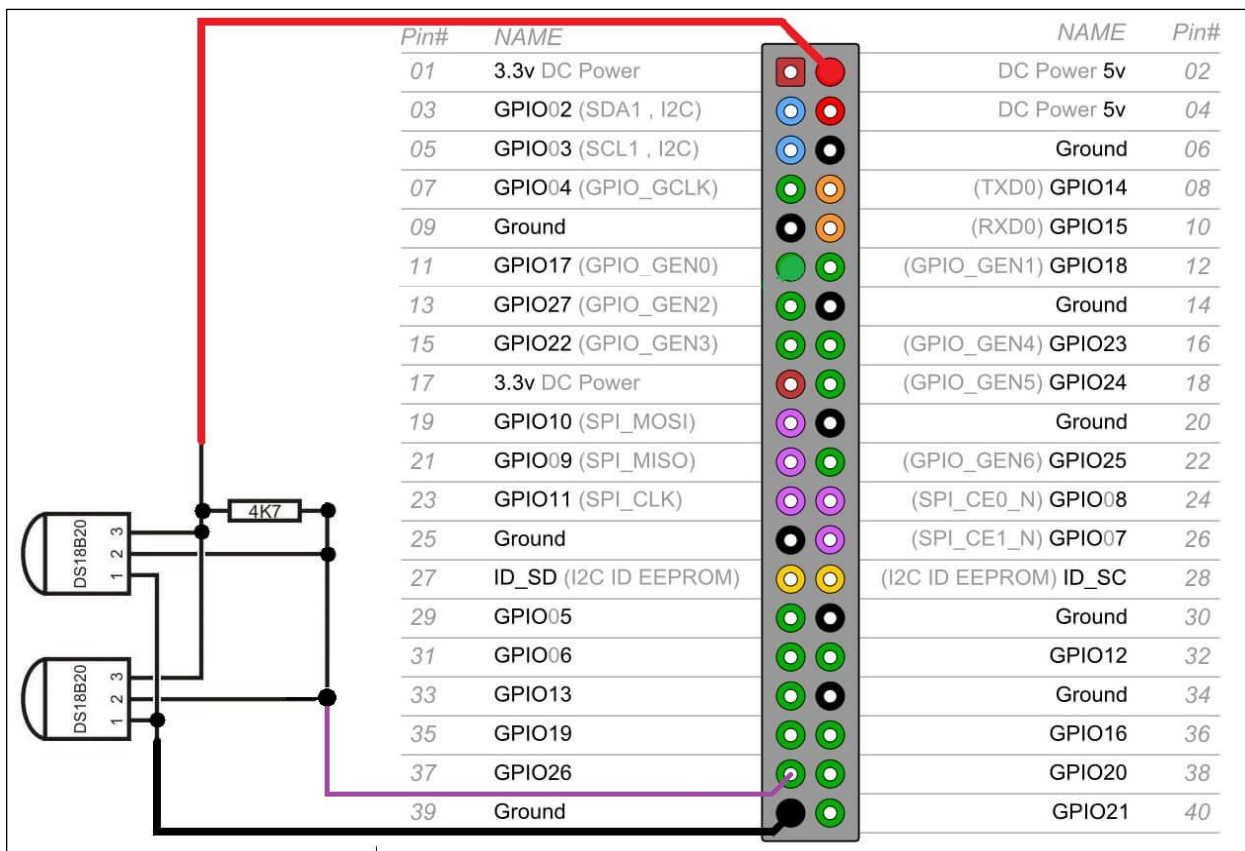


Рисунок 3.11 – Схема подключения датчиков к Orange Pi PC Plus

Далее необходимо убедиться, что драйвер настроен правильно, как показано на рисунке 3.12, и на нужный пин.

```

root@orangepipcplus:~# dmesg | grep -E 'w1|wire'
[ 10.314570] W1_SUNXI: Added w1-gpio on GPIO-20
[ 10.318848] Driver for 1-wire Dallas network protocol.

```

Рисунок 3.12 – Настройка драйвера выполнена на 20-ый пин

Теперь можно легко получить данные с датчиков. Температура и crc записаны в файле «w1\_slave» каждого датчика и при каждом обращении к команде «cat», показанной на рисунке 3.13, просто получить необходимые данные [36].

```

root@orangepipcplus:~# cat /sys/bus/w1/devices/28-0417b2fc3cff/w1_slave
b8 01 4b 46 7f ff 0c 10 b1 : crc=b1 YES
b8 01 4b 46 7f ff 0c 10 b1 t=27500
root@orangepipcplus:~# cat /sys/bus/w1/devices/28-0416a0247cff/w1_slave
f1 01 4b 46 7f ff 0c 10 91 : crc=91 YES
f1 01 4b 46 7f ff 0c 10 91 t=31062
root@orangepipcplus:~# █

```

Рисунок 3.13 – Данные с датчиков температуры

Таким образом, получены данные о температуре окружающей среды: с первого датчика – 27,5 градусов Цельсия, со второго – 31,062 градусов Цельсия.

Анализатор газов MQ-135 представляет собой миниатюрный и дешёвый датчик, который может определять уровень вредных веществ в воздухе. В его способности входит определение в воздухе наличие следующих веществ: углекислый газ, угарный газ, аммиак, бензол, оксид азота, пары спирта, дым и прочее [38].

Таблица 3.4 – Основные технические характеристики и достоинства датчика

Технические характеристики датчика
Высокая чувствительность
Высокая скорость реакции
Стабильность и долговечность
Питание нагревательного элемента от 5 В
Сопротивление нагревательного элемента - 33 Ом
Ток потребляемый нагревателем от источника питания 5 В – 150 мА (мощность 800 мВт)
Небольшие размеры (18мм в диаметре, 17мм в высоту + 6мм высота пинов)

Нагревательный элемент необходим для обеспечения кондиционного режима работы чувствительного слоя. Воздух с содержащимися в нем веществами, попадая на чувствительный слой и в зависимости от концентрации

этих веществ спровоцирует изменение значения электрического потенциала между электродами, представленными на рисунке 3.14. Данный электрический потенциал снимается с электродов и анализируется его уровень при помощи дополнительных электронных схем [39].

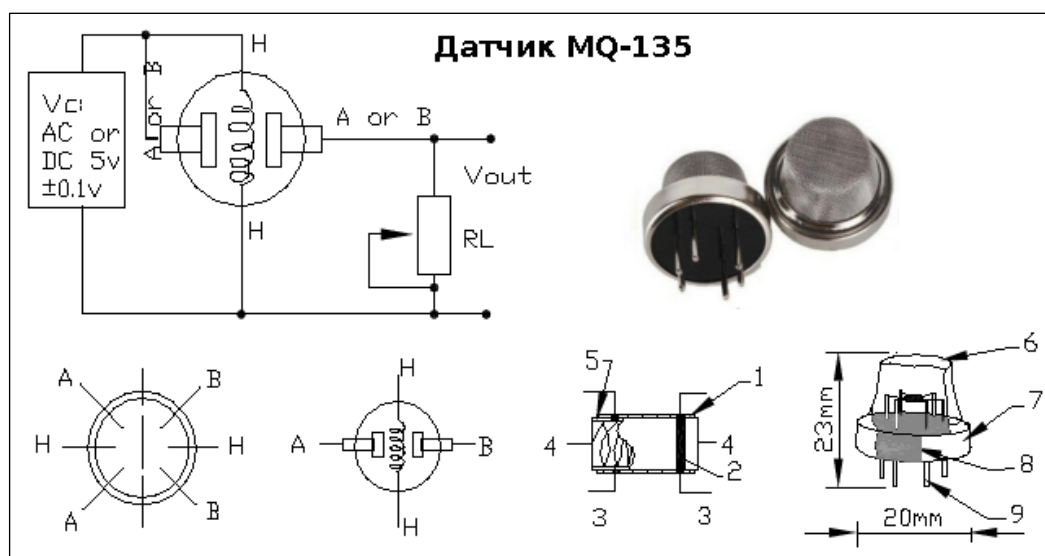


Рисунок 3.14 – Структура и принцип работы анализатора газов

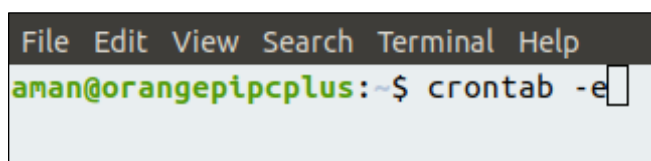
Для анализа состояния датчика MQ-135 будет использоваться скрипт, который написан на языке программирования Python. Для этого при помощи редактора nano необходимо создать файл скрипта в директории /tmp/mq-135.py. При помощи данного скрипта можно получать данные от анализатора и газов и выводить их на экран терминала [39].

```
#!/usr/bin/python3
from smbus import SMBus
DEV_ADDR = 0x48
adc_channel = 0b1000010
dac_channel = 0b1000000
bus = SMBus(1)
bus.write_byte(DEV_ADDR, adc_channel)
bus.read_byte(DEV_ADDR)
bus.read_byte(DEV_ADDR)
value = bus.read_byte(DEV_ADDR)
print('AIN value: ' + str(value))
```

Для постоянного получения данных с датчика температуры можно воспользоваться компьютерной программой, используемой в системах класса Unix, cron. Cron используется для планирования задач, которые будут выполняться периодически. С его помощью настроить команды или сценарии, которые будут повторяться в заданное время. Cron — один из самых полезных

инструментов в Linux или UNIX. Служба (daemon) cron работает в фоновом режиме и постоянно проверяет файл /etc/crontab и каталог /etc/cron.\*/. Он также проверяет каталог /var/spool/cron/.

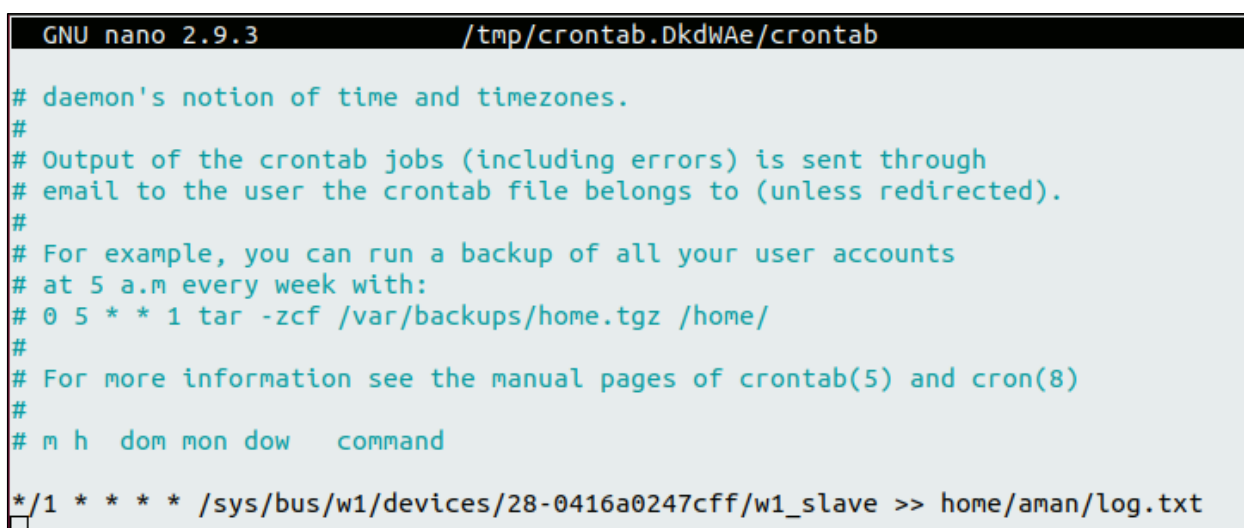
Crontab — это команда, используемая для установки, удаления или вывода файла конфигурации cron, используемого для управления демоном cron. Каждый пользователь может иметь свой собственный файл задач crontab, и хотя эти файлы хранятся в /var/spool/cron/crontabs, они не предназначены для прямого редактирования. Нужно использовать команду crontab для редактирования или настройки ваших собственных заданий cron. Для постоянного опроса датчика температуры воспользуемся командой crontab, представленной на рисунке 3.15 [40].



```
File Edit View Search Terminal Help
aman@orangeipcplus:~$ crontab -e
```

Рисунок 3.15 – Команда «crontab»

Далее необходимо отредактировать файл crontab, показанный на рисунке 3.16, для правильного опроса датчика.



```
GNU nano 2.9.3 /tmp/crontab.DkdWAe/crontab
# daemon's notion of time and timezones.
#
# Output of the crontab jobs (including errors) is sent through
# email to the user the crontab file belongs to (unless redirected).
#
# For example, you can run a backup of all your user accounts
# at 5 a.m every week with:
# 0 5 * * 1 tar -zcf /var/backups/home.tgz /home/
#
# For more information see the manual pages of crontab(5) and cron(8)
#
# m h dom mon dow   command
*/1 * * * * /sys/bus/w1/devices/28-0416a0247cff/w1_slave >> home/aman/log.txt
```

Рисунок 3.16 – файл «crontab»

В данном файле строка «\*/1 \* \* \* \* /sys/bus/w1/devices/28-0416a0247cff/w1\_slave >> home/aman/log.txt» является командой опроса датчика температуры, где:

- \*/1 \* \* \* \* обозначает, что датчик будет опрашиваться каждую минуту в каждый день каждого года;
- sys/bus/w1/devices/28-0416a0247cff/w1\_slave – команда опроса датчика;



- >> home/aman/log.txt обозначает, что весь вывод команды будет записываться в директории «home/aman» в файле «log.txt».

При помощи команд «pwd» и «ls», представленных на рисунке 3.17, можно увидеть, что файл «log.txt» создан в директории «home/aman».

```
aman@orangeipcplus:~$ pwd
/home/aman
aman@orangeipcplus:~$ ls
conn1.php  Documents  'log (copy).txt'  Pictures  Templates
conn.php   Downloads  log.txt           Public    Videos
Desktop    insert_in_db.py Music           snap
```

Рисунок 3.17 – Расположение файла «log.txt»

Далее можно осуществлять запись поступающих значений в базу данных MySQL.

MySQL представлена в виде свободной реляционной системы управления базами данных. Разработку и поддержку MySQL осуществляет корпорация Oracle. Продукт распространяется как под GNU General Public License, так и под собственной коммерческой лицензией. Помимо этого, разработчики создают функциональность по заказу лицензионных пользователей. Именно благодаря такому заказу почти в самых ранних версиях появился механизм репликации [41].

Входит в состав серверов WAMP, AppServ, LAMP и в портативные сборки серверов Денвер, XAMPP, VertrigoServ. Обычно MySQL используется в качестве сервера, к которому обращаются локальные или удалённые клиенты, однако в дистрибутив входит библиотека внутреннего сервера, позволяющая включать MySQL в автономные программы.

Гибкость СУБД MySQL обеспечивается поддержкой большого количества типов таблиц: в зависимости от целей присутствует возможность выбрать как таблицы типа MyISAM, поддерживающие полнотекстовый поиск, так и таблицы InnoDB, поддерживающие транзакции на уровне отдельных записей. Более того, СУБД MySQL поставляется со специальным типом таблиц EXAMPLE, демонстрирующим принципы создания новых типов таблиц. Благодаря открытой архитектуре и GPL-лицензированию, в СУБД MySQL постоянно появляются новые типы таблиц [41].

Принцип работы MySQL состоит в том, что одно или несколько устройств (клиентов) подключаются к серверу через определённую сеть. Каждый клиент может сделать запрос из графического интерфейса пользователя (GUI) на своих экранах, и сервер выдаст желаемый результат, если оба конца понимают инструкцию. Основные процессы, происходящие в среде MySQL, одинаковы:

- MySQL создаёт базу данных для хранения и управления данными, определяющими отношения каждой таблицы;

- клиенты могут делать запросы, вводя определённые команды SQL на MySQL;

- приложение сервера ответит запрошенной информацией и появится на стороне клиента.

Клиенты обычно указывают, какой MySQL GUI использовать. Чем легче и удобнее графический пользовательский интерфейс, тем быстрее и проще будут выполняться операции по управлению данными. Некоторыми из самых популярных графических интерфейсов MySQL являются MySQL WorkBench, SequelPro, DBVisualizer и Navicat DB Admin Tool [41].

Для установки MySQL необходимо воспользоваться командой, представленной на рисунке 3.18.

Для дальнейшей работы необходимо настроить вход в систему БД по паролю, а не при помощи установленного по умолчанию плагина auth\_socket. Для этого необходимо изменить метод аутентификации с auth\_socket на mysql\_native\_password. При помощи команд по смене метода, теперь вход в систему БД возможен только при помощи пароля, что повышает безопасность. При помощи команды, представленной на рисунке 3.19, видно, что теперь пользователь MySQL аутентифицируется при помощи пароля [41].

Далее необходимо создать базу данных data\_temp с таблицей data. В таблицу data будет происходить запись данных о температуре окружающей среды. Запись будет производиться по двоим значениям: id датчика и его показания температуры.

```
aman@orangeipcplus:~$ sudo apt install mysql-server
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following packages were automatically installed and are no longer required:
 fonts-liberation2 fonts-opensymbol gir1.2-gst-plugins-base-1.0
 gir1.2-gstreamer-1.0 gir1.2-gudev-1.0 gir1.2-udisks-2.0
 grilo-plugins-0.3-base gstreamer1.0-gtk3 libboost-date-time1.65.1
 libboost-filesystem1.65.1 libboost-iostreams1.65.1 libboost-locale1.65.1
 libcdr-0.1-1 libclucene-contribs1v5 libclucene-core1v5 libcmis-0.5-5v5
 libcolamd2 libdazzle-1.0-0 libe-book-0.1-1 libedataserverui-1.2-2 libeot0
 libepubgen-0.1-1 libetonyek-0.1-1 libevent-2.1-6 libexiv2-14
 libfreerdp-client2-2 libfreerdp2-2 libgc1c2 libgee-0.8-2 libgexiv2-2
 libgom-1.0-0 libgpgmepp6 libgpod-common libgpod4 liblangtag-common
 liblangtag1 liblirc-client0 liblua5.3-0 libmediaart-2.0-0 libmsspub-0.1-1
 libodfgen-0.1-1 libqqwing2v5 libraw16 librevenge-0.0-0 libsgutils2-2
 libssh-4 libsuitesparseconfig5 libvncclient1 libwinpr2-2 libxapian30
 libxmlsec1 libxmlsec1-nss lp-solve media-player-info python3-mako
 python3-markupsafe syslinux syslinux-common syslinux-legacy
 usb-creator-common
```

Рисунок 3.18 – Установка MySQL

Создание базы данных data\_temp, позволит собирать и хранить данные в одном месте, что позже облегчит поиск и вывод значений, если они могут понадобиться для удобного отображения в браузере или создании графиков. В



самой базе данных можно создать необходимое количество таблиц, показанное на рисунке 3.20, которые можно связать между собой и осуществлять управление и быстрое редактирование данных. Также исходя из рисунка 3.20, на котором виден результат команды «select \* from data;» видно, что таблица пустая, так как отсутствуют данные для записи.

```
mysql> SELECT user,authentication_string,plugin,host FROM mysql.user;
```

user	authentication_string	plugin	host
root	*23AE809DDACAF96AF0FD78ED04B6A265E05AA257	mysql_native_password	localhost
mysql.session	*THISISNOTAVALIDPASSWORDTHATCANBEUSEDHERE	mysql_native_password	localhost
mysql.sys	*THISISNOTAVALIDPASSWORDTHATCANBEUSEDHERE	mysql_native_password	localhost
debian-sys-maint	*7E61A87BB5BA8986EB031313184F6B9B6516EF21	mysql_native_password	localhost

```
4 rows in set (0.00 sec)
```

Рисунок 3.19 – Вывод аутентификации пользователей

Запись результата опроса датчиков будет производиться в таблицу при помощи скрипта, который написан на языке программирование Python. Python поддерживает структурное, объектно-ориентированное, функциональное, императивное и аспектно-ориентированное программирование.

```
mysql> create database data_temp;
Query OK, 1 row affected (0.00 sec)

mysql> use data_temp;
Database changed
mysql> create table data (Id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY, SensorId VARCHAR(50) NOT NULL, Temperature DECIMAL NOT NULL);
Query OK, 0 rows affected (0.03 sec)

mysql> select * from data;
Empty set (0.00 sec)
```

Рисунок 3.20 – Создание БД и таблицы

Эталонной реализацией Python является интерпретатор CPython, поддерживающий большинство активно используемых платформ. Он распространяется под свободной лицензией Python Software Foundation License, позволяющей использовать его без ограничений в любых приложениях, включая проприетарные. Существует реализация интерпретатора для JVM с возможностью компиляции, CLR, LLVM, другие независимые реализации. Проект PyPy использует JIT-компиляцию, которая значительно увеличивает скорость выполнения Python-программ.

Скрипт «insert\_in\_db.py», представленный ниже, сначала осуществляет процесс чтения файла «log.txt», в котором находятся полученные данные от

датчиков температуры, затем по коду датчика присваивает его Id и записывает показания температуры в таблицу базы данных, показанную на рисунке 3.22.

```
#!/usr/bin/python3
import pymysql
import requests
inf=open('log.txt','r')
s=inf.readlines()
inf.close()
for i in s:
    i=str(i)
    pos=i.find('t=')
    if pos==27:
        sensor=str(i[:pos-1])
        if sensor=='f1 01 4b 46 7f ff 0c 10 91':
            sensor='28-0416a0247cff'
        else:
            continue
        temp=i[pos+2:len(i)-1]
        con=pymysql.connect('localhost','root','123','data_temp')
        command='insert data (SensorId,Temperature) values (' + "" + sensor + ""
+ ', ' + "" + temp + "" + ');'
        with con:
            cur=con.cursor()
            cur.execute(command)
            rows=cur.fetchall()
            url='https://api.telegram.org/bot1052466827:AAGhaAetN--
u8rWwHt0RHbgHaUQKrQ20M24/sendMessage?'
            chat_id='-332706542'
            text='Датчик ' + sensor + ' показывает ' + temp + ' градусов по Цельсию'
            r=requests.post(url + 'chat_id=' + chat_id + '&text='+ text)
    else:
        continue
```

Датчик 28-0416a0247cff показывает 29.184 градусов по Цельсию	9:35:17 PM
Датчик 28-0416a0247cff показывает 27.06 градусов по Цельсию	9:35:17 PM
Датчик 28-0416a0247cff показывает 29.456 градусов по Цельсию	9:36:33 PM
Датчик 28-0416a0247cff показывает 34.256 градусов по Цельсию	9:36:33 PM
Датчик 28-0416a0247cff показывает 37.222 градусов по Цельсию	9:36:34 PM

Рисунок 3.21 – Получение сообщений в Телеграмм

```
mysql> select * from data;
+-----+-----+-----+
| Id | SensorId | Temperature |
+-----+-----+-----+
| 1 | 28-0416a0247cff | 31 |
| 2 | 28-0416a0247cff | 33 |
| 3 | 28-0416a0247cff | 35 |
| 4 | 28-0416a0247cff | 38 |
| 5 | 28-0416a0247cff | 34 |
| 6 | 28-0416a0247cff | 31 |
| 7 | 28-0416a0247cff | 29 |
| 8 | 28-0416a0247cff | 27 |
| 9 | 28-0416a0247cff | 31 |
| 10 | 28-0416a0247cff | 33 |
| 11 | 28-0416a0247cff | 35 |
| 12 | 28-0416a0247cff | 38 |
| 13 | 28-0416a0247cff | 34 |
| 14 | 28-0416a0247cff | 31 |
| 15 | 28-0416a0247cff | 29 |
| 16 | 28-0416a0247cff | 27 |
+-----+-----+-----+
16 rows in set (0.00 sec)
```

Рисунок 3.22 – Результат записи данных в БД



Рисунок 3.23 – Получение данных от датчиков

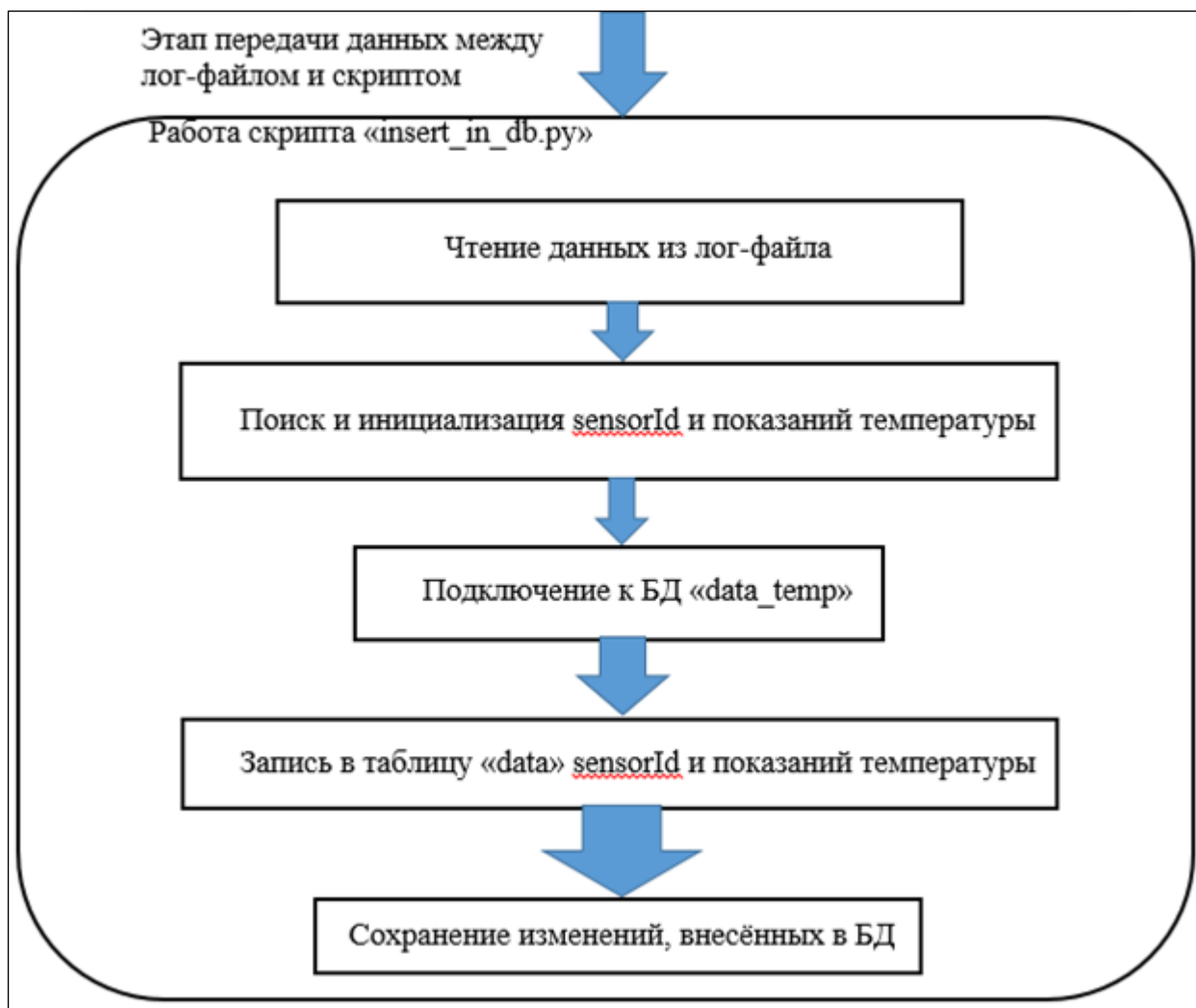


Рисунок 3.24 – Принцип работы записи температуры в БД

### 3.5 Установка и настройка веб-сервера Apache HTTP Server 2.4.29

Apache является программным обеспечением с открытым исходным кодом, веб-сервер, который позволяет обеспечить работу написанного сайта. Работа веб-сервера состоит в выполнении роли посредника между компьютером сервера и компьютером клиента, для этого он берёт контент с сервера на каждый запрос пользователя и доставляет его в сеть. Веб-сервер обрабатывает файлы, которые написаны на различных языках программирования: PHP, Python, Java и др. [42].

Основная задача веб-сервера состоит в установлении соединения между сервером и браузером клиента, показанного на рисунке 3.25 при отправлении файлов в оба направления между ними (клиент-серверная структура). Сервер и клиент работают по протоколу HTTP. Основными достоинствами являются надёжность и гибкость конфигурации, также существует возможность подключения внешних модулей для визуализации данных, применения СУБД (система управления базами данных) [42].



Рисунок 3.25 – Принцип работы веб-сервера

Установка веб-сервера Apache осуществляется при помощи менеджера пакетов Ubuntu apt, используя команду, представленную на рисунке 3.26. После ввода пароля менеджер apt сообщит, какие пакеты будут установлены и какое место они займут на диске.

```
aman@orangeipcplus:~$ sudo apt install apache2
[sudo] password for aman:
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following packages were automatically installed and are no longer required:
```

Рисунок 3.26 – Установка веб-сервера

Следующим шагом нужно убедиться, что фаервол UFW операционной системы пропускает HTTP и HTTPS трафики. Для этого нужно проверить, что UFW имеет профиль для Apache командой, приведённой в рисунке 3.27. В выводе команды можно увидеть результат наличие профиля [42].

```
aman@orangeipcplus:~$ sudo ufw app list
Available applications:
Apache
Apache Full
Apache Secure
CUPS
OpenSSH
```

Рисунок 3.27 – Профиль для Apache

Далее необходимо проверить настройку профиля Apache Full, которая должна разрешать трафик для портов 80 и 443, представленных на рисунке 3.28.

Также сразу необходимо разрешить входящий HTTP и HTTPS трафика для профиля.

```
aman@orangeipcplus:~$ sudo ufw app info "Apache Full"
Profile: Apache Full
Title: Web Server (HTTP,HTTPS)
Description: Apache v2 is the next generation of the omnipresent Apache web
server.

Ports:
 80,443/tcp
```

Рисунок 3.28 – Настройка профиля Apache

Далее необходимо проверить работоспособность веб-сервера и правильность установки при помощи IP-адреса мини-компьютера. Результатом правильной установки станет страница Apache, отображаемая по умолчанию для информации и тестирования.

Следующим важным компонентом для работы веб-сервера является PHP, который отвечает за обработку кода для отображения динамического контента. Его основными задачами являются запуск скриптов, подключение к базам данных MySQL для получения информации и передача обработанных данных для визуализации. Для использования возможностей для реализации задуманного необходимо установить вспомогательные пакеты.

Далее необходимо изменить способ поиска файлов при запросе директории. Необходимо, чтобы веб-сервер отдавал предпочтение PHP-файлам, так как скрипты, который будут участвовать в работе сервера будут написаны на языке программирования PHP. Конфигурационный файл, который отвечает за подобный поиск, находится в директории `/etc/apache2/mod-enabled/dir.conf`. Изменения вносятся при помощи редактора файлов nano, который показан на рисунке 3.29.

Для применения ранее внесённых изменений необходимо перезапустить Apache и после перезапуска проверить статус сервиса при помощи команд: `systemctl restart apache2` и `systemctl status apache2`, представленных на рисунке 3.30.

```
GNU nano 2.9.3 /etc/apache2/mods-enabled/dir.conf
<IfModule mod_dir.c>
  DirectoryIndex index.php index.cgi index.pl index.html index.xhtml inde$
</IfModule>

# vim: syntax=apache ts=4 sw=4 sts=4 sr noet
```

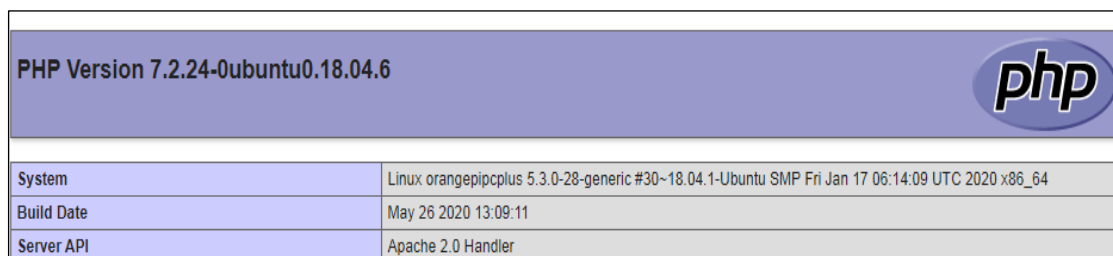
Рисунок 3.29 – Редактирование файла dir.conf

```
aman@orangeipcplus:~$ sudo systemctl restart apache2
aman@orangeipcplus:~$ sudo systemctl status apache2
● apache2.service - The Apache HTTP Server
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/apache2.service; enabled; vendor preset:
   Drop-In: /lib/systemd/system/apache2.service.d
            └─apache2-systemd.conf
   Active: active (running) since Thu 2020-06-04 16:41:25 +06; 7s ago
     Process: 8584 ExecStop=/usr/sbin/apachectl stop (code=exited, status=0/SUCCESS)
     Process: 8589 ExecStart=/usr/sbin/apachectl start (code=exited, status=0/SUCCESS)
    Main PID: 8593 (apache2)
       Tasks: 6 (limit: 3232)
```

Рисунок 3.30 – Статус сервиса Apache

Для проверки работоспособности PHP нужно создать PHP-скрипт, который будет отображать системную информацию. Для корректной отработки Apache файла необходимо сохранить его в директории `/var/www/html/`. Для отображения системной информации скрипта будет содержать необходимые для этого строки.

Теперь можно проверить корректность отображения контента, который сгенерирован скриптом PHP, при помощи веб-браузера. Нужно открыть новую страницу в браузере и внести в поиск строку, которая содержит IP-адрес компьютера: `http://192.168.1.200/info.php`. Результатом станет страница, которая содержит информацию для отладки и корректности применения настроек и которая показана на рисунке 3.31 [42].



PHP Version 7.2.24-0ubuntu0.18.04.6	
System	Linux orangeipcplus 5.3.0-28-generic #30~18.04.1-Ubuntu SMP Fri Jan 17 06:14:09 UTC 2020 x86_64
Build Date	May 26 2020 13:09:11
Server API	Apache 2.0 Handler

Рисунок 3.31 – Системная информация

Теперь можно приступить к разработке отображения данных от датчиков разных типов. Для этого необходимо создать страницу `index.php`, при помощи которой можно будет вывести данные по названию `SensorId` или вывести все значения, записанные в БД. Страница, представленная на рисунке 3.32, будет содержать поле для заполнения `SensorId` датчика, кнопку «Отправить» для вывода конкретных данных и кнопку «Показать».



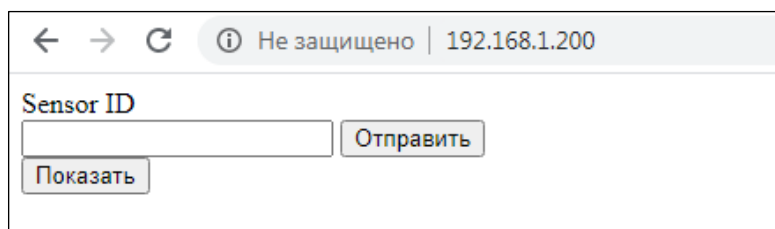


Рисунок 3.32 – Основная страница отображения данных

За основную страницу отвечает скрипт, который написан на языке программирования PHP при помощи подключенных библиотек jQuery. Данная библиотека необходима для абстрагирования, выравнивания, исправления и упрощения скриптинга во время работы с узлами HTML-элементами в браузере или для работы в браузере без графического интерфейса.

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <title>Data</title>
  <script src="https://code.jquery.com/jquery-3.5.1.min.js"
  integrity="sha256-9/aliU8dGd2tb6OSsuzixeV4y/faTqgFtohetphbbj0="
  crossorigin="anonymous"></script>
  <script type="text/javascript" src="/media/js/script.js"></script>
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="/media/css/style.css">
</head>
<body>
  <div>
    <form id="search">
      <div>Sensor ID</div>
      <div>
        <input type="text" name="" class="default-input
sensorid">
        <input type="submit" name="" class="default-
button search">
      </div>
    </form>
    <div class="result-search"></div>
  </div>
  <div>
    <input type="button" name="" class="default-button all"
value="Показать">
    <div class="result"></div>
  </div>
</body>
</html>

```



В скрипте index.php за поле, в которое вводится имя датчика, отвечает тег `<input type="text">`, обернутый в тег `<form id="search">`, по которому происходит переход на скрипт sensor-search.php. Данный скрипт осуществляет поиск данных в БД по имени датчика при помощи SQL-запроса "SELECT \* FROM data WHERE SensorId = '\$sensor\_id'", в котором при использовании условия WHERE осуществляется определение конкретных строк, содержащих в столбце SensorId введённое имя. В случае успешного выполнения запроса, который показан на рисунке 3.33, происходит построение таблицы при помощи тега `<tr>` для удобного просмотра выводимых данных.

```

<?php
require('/var/www/html/components/mysql-connect.php');
if (isset($_POST['sensor_id'])) {
    $sensor_id = $_POST['sensor_id'];
    $query = $mysql->query("SELECT * FROM data WHERE SensorId =
'$sensor_id'");
    echo "<table>";
    while ($result = $query->fetch_array()) {
        echo "<tr>";
        echo "<td>".$result['Id']."</td>";
        echo "<td>".$result['SensorId']."</td>";
        echo "<td>".$result['Temperature']."</td>";
        echo "</tr>";
    }
    echo "</table>";
}

```

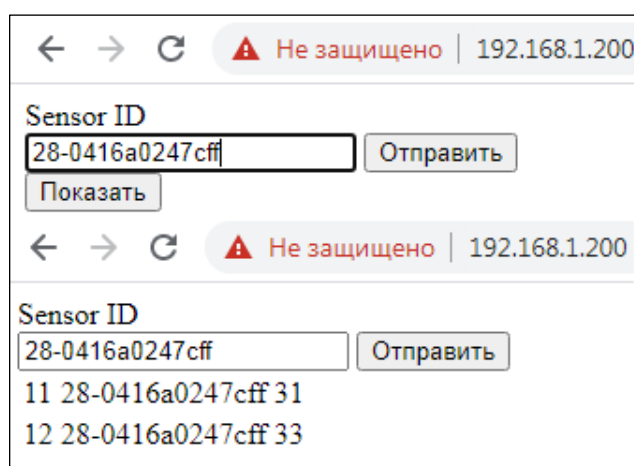


Рисунок 3.33 – Запрос и вывод результата по имени датчика

В скрипте index.php за вывод всех данных отвечает тег `<input type="button" name="" class="default-button all" value="Показать">`. При нажатии на кнопку «Показать» запускается скрипт sensor-all.php. Данный

скрипт осуществляет поиск всех записей в БД при помощи SQL-запроса "SELECT \* FROM data". В случае успешного выполнения запроса, который показан на рисунке 3.34, происходит построение таблицы при помощи тега <tr> для удобного просмотра всех выводимых данных.

```
<?php
require('/var/www/html/components/mysql-connect.php');
if (isset($_POST['all'])) {
    $query = $mysql->query("SELECT * FROM data");

    echo "<table>";
    while ($result = $query->fetch_array()) {
        echo "<tr>";
        echo "<td>".$result['Id']."</td>";
        echo "<td>".$result['SensorId']."</td>";
        echo "<td>".$result['Temperature']."</td>";
        echo "</tr>";
    }
    echo "</table>";
}
```

Скрипты sensor-search.php и sensor-all.php в начале содержат строку require('/var/www/html/components/mysql-connect.php'), которая предназначена для подключения к базе данных. При успешном подключении запрашиваемые запросы будут правильно обрабатываться и давать результаты. При отказе скрипт будет выводить сообщение об ошибке и текст самой ошибки. Данная функция очень удобна и полезна во время отладки, так как позволяет оперативно устранять неполадки.

```
<?php
$mysql = mysqli_connect("localhost", "root", "123", "data_temp");

if (!$mysql) {
    echo "Ошибка: Невозможно установить соединение с MySQL." .
    PHP_EOL;
    echo "Код ошибки errno: " . mysqli_connect_errno() . PHP_EOL;
    echo "Текст ошибки error: " . mysqli_connect_error() . PHP_EOL;
    exit;
}
```

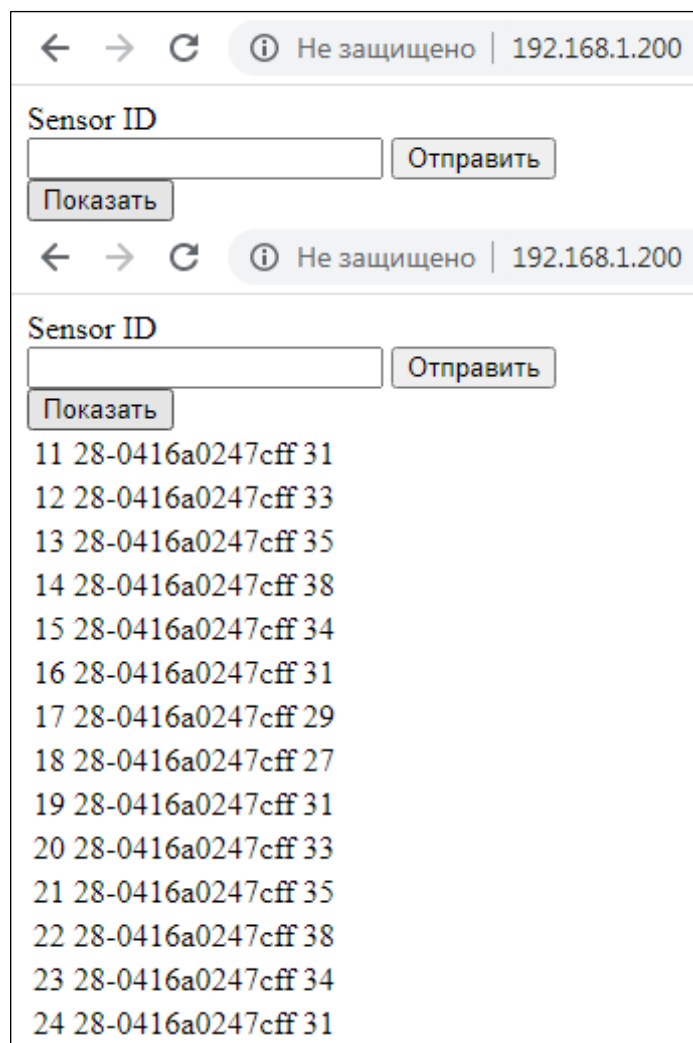


Рисунок 3.34 – Вывод всех записей в БД

Таким образом, при помощи установки и настройки веб-сервера Apache, а также написания скриптов PHP появилась возможность отображения, фильтрации данных в веб-браузер, что значительно упрощает мониторинг показаний. Также можно осуществить множество различных функций, которые будут необходимы в зависимости от конкретных целей и задач.

### 3.6 Расчёт максимально возможного количества записей с датчиков в базу данных MySQL

При помощи встроенных возможностей СУБД MySQL и установленного веб-приложения phpMyAdmin возможно определить размер одной строки в таблице данных от каждого датчика для последующих расчётов.

Для начала необходимо подключиться к серверу баз данных и выполнить SQL-запрос для определения размера конкретной таблицы в базе данных.

```
SELECT  
table_name AS `Table`,  
round((((data_length + index_length) / 1024 ), 2) `Size in KB`
```

```
FROM information_schema.TABLES
WHERE table_schema = "data_temp"
AND table_name = "data";
```

Расчёт максимального количества записей в базе данных для двух типов датчиков будет производиться по формуле:

$$N = A / c,$$

где  $A$  – встроенная память платформы (8000000000 кб),  
 $c$  – размер одной строки.

Для датчика температуры размер одной строки, которая записана в БД и содержит его имя, ID и показание температуры, в среднем составляет около 0,41 кб.

$$N = 8000000000 / 0,41 = 19512195121 \text{ записей.}$$

Для анализатора газов размер одной строки, которая записана в БД и содержит его имя и показание анализа состояния воздуха, в среднем составляет около 1 кб.

$$N = 8000000000 / 1 = 8000000000 \text{ записей.}$$

Так как размер строки, полученной от анализатора газов, больше, то и заполнять память контроллера датчик газов будет гораздо быстрее, чем датчик температуры. Для наглядности ниже приведён рисунок заполнения памяти контроллера в течении получаса.

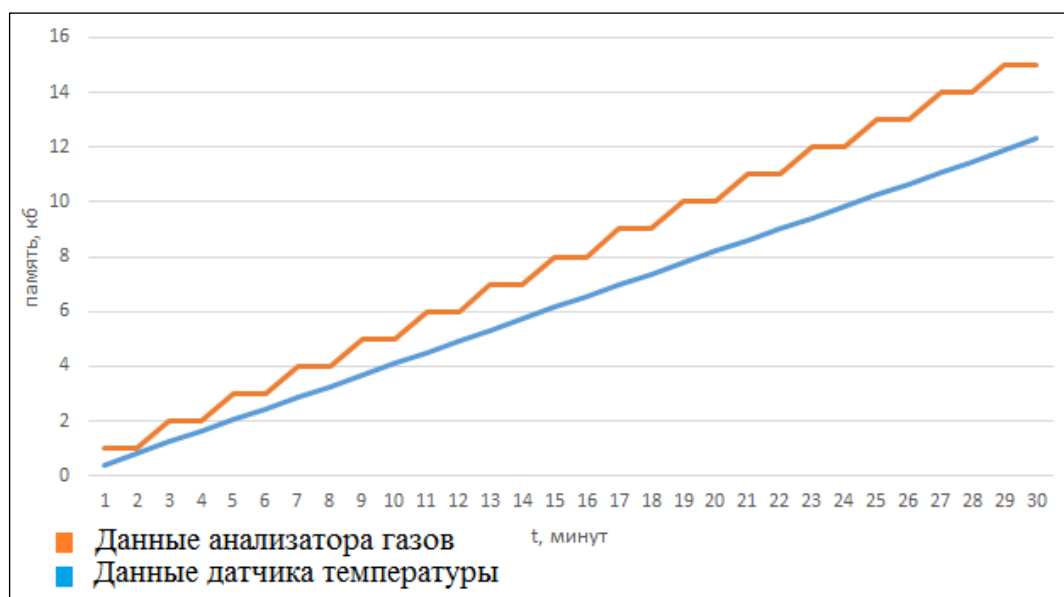


Рисунок 3.35 – График записи данных в память контроллера

Датчик температуры производит опрос и запись данных каждую минуту. Следовательно, в течении часа записывается:

$$M = 0,41 * 60 = 24,6 \text{ кб.}$$

В течении суток:

$$M = 24,6 * 24 = 590,4 \text{ кб.}$$

В течении года:

$$M1 = 590,4 \text{ кб} * 365 = 215496 \text{ кб.}$$

Датчик анализатора газов производит опрос и запись данных каждый две минуты. Следовательно, в течении часа записывается:

$$M = 1 * 30 = 30 \text{ кб.}$$

В течении суток:

$$M = 30 * 24 = 720 \text{ кб.}$$

В течении года:

$$M2 = 720 * 365 = 262800 \text{ кб.}$$

То есть в течении года от обоих датчиков в общем в память контроллера, представленную в рисунке 3.37, записывается:

$$M = M1 + M2 = 215496 + 262800 = 478296 \text{ кб.}$$

Соотношение занимаемой памяти по разным датчикам показано на рисунке 3.37.

Таким образом, при помощи мини-компьютера Orange Pi PC Plus, на котором установлена операционная система Armbian, присутствует возможность осуществления удалённого подключения для настройки и изменения конфигурации контроллеров, которые находятся в разных точках страны. Большое количество поддерживаемых протоколов позволяет подключать различный спектр датчиков для опроса состояния в определённых помещениях. Утилита crontab даёт преимущество в создании различных периодов получения данных. Установленная СУБД MySQL разрешает структурированное хранение получаемых данных, упрощает вывод и удаление

конкретных записей, а также графическое отображение данных в браузере при помощи веб-сервера Apache.

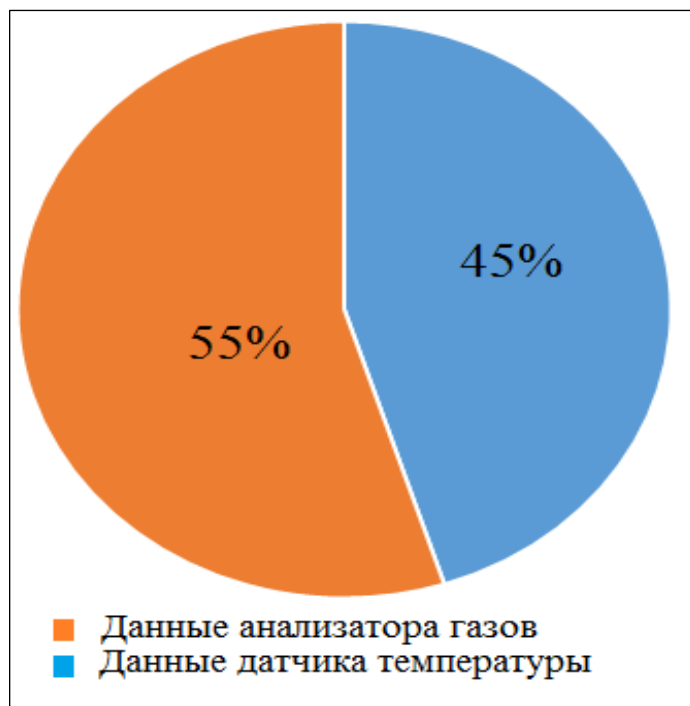


Рисунок 3.36 – Диаграмма соотношения занимаемой памяти

Также стоит отметить возможность данной платформы осуществить построение графиков и их последующую передачу в Интернетом посредством специально развёрнутой веб-платформы.

## Заключение

Концепция Интернета вещей нашла широкое применение в повседневной жизни. Экосистема IoT настолько обширна, что охватывает практически все сферы деятельности человека.

В данной диссертационной работе был проведен анализ существующих аппаратных платформ контроллеров IoT. Выполнено сопоставление пяти вариантов платформ, отобранных согласно предварительно разработанным требованиям и критериям.

Предложен вариант имитационной модели для проведения исследования с последующей установкой операционной системы Armbian, в которой по умолчанию заложены возможности передачи данных по различным протоколам связи и настройкой всей системы. В ходе создания были установлены необходимые программы и подключены устройства, существенно увеличившие функциональные возможности выбранной модели мини-компьютера.

Установлен OpenSSH сервер, при помощи которого появляется возможность удалённого подключения к мини-компьютеру и его последующей настройки и переконфигурации. Подключены при помощи установленных библиотек датчик температуры DS18B20 и анализатор газов MQ-135, осуществлён периодический опрос датчиков при помощи встроенных утилит операционной системы Armbian. Установлена система управления базами данных MySQL для последующей записи поступающих данных и их хранения.

Написан скрипт на языке программирования Python, осуществляющий чтение записанных в лог файл показаний датчиков, запись полученных данных в конкретные таблицы СУБД и отправку результатов опроса в мессенджер Телеграмм для оповещения. Установлен веб-сервер Apache, который позволяет осуществлять графическое отображение данных в удобном для человека виде в браузере. Написаны ряд скриптов на языке программирования PHP для подключения и вывода данных из СУБД в браузер, для начальной страницы поиска данных по идентификатору датчика и выведения всех записей из базы данных.

Было определено максимально возможное количество записей в системе управления базами данных MySQL, исходя из максимальной ёмкости встроенной памяти мини-компьютера, выполнена графическая иллюстрация полученных результатов.

В ходе исследования были получены результаты, которые позволили не только получать данные, но и осуществлять их дальнейшую обработку, хранение, отображение в удобном для пользователя виде. Важным результатом является интеграция с различными сторонними сервисами: мессенджерами Телеграмм, Apple HomeKit и другими. В итоге данная платформа оказывается существенно экономичнее ряда вариантов, обладает гибкостью, позволяющей осуществлять быструю перенастройку.

## Список литературы

- 1 Международный союз электросвязи. Измерение информационного общества. Отчет за 2015 год. Резюме. 2015.
- 2 Лучес А. Интернет вещей — оборудование, компании, люди, все / Новости МСЭ. 2013.
- 3 Аналитический отчет. Прогноз развития рынка «Интернета вещей» Республики Казахстан в период до 2024 года // json.tv: Аналитика ИКТ и Digital Media. 2020. URL: [https://json.tv/ict\\_telecom\\_analytics\\_view/prognoz-razvitiya-rynka-interneta-veschey-respubliki-kazahstan-v-period-do-2024-goda-20200430053959](https://json.tv/ict_telecom_analytics_view/prognoz-razvitiya-rynka-interneta-veschey-respubliki-kazahstan-v-period-do-2024-goda-20200430053959) (дата обращения: 03.05.2020).
- 4 Черняк Л. Интернет вещей Internet of Things, IoT // tadviser.ru: Портал выбора технологий и поставщиков. 2017. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/\(Internet\\_of\\_Things,\\_IoT\)](http://www.tadviser.ru/index.php/(Internet_of_Things,_IoT)) (дата обращения: 01.03.2020).
- 5 Kasey Panetta. Challenges of creating, implementing and preparing for the IoT // gartner.com: Business and Technology Trends – Smarter With Gartner. 2016 URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/7-technologies-underpin-the-hype-cycle-for-the-internet-of-things-2016> (дата обращения: 05.03.2020).
- 6 Пресс-центр Microsoft. 85% компаний используют Интернет вещей // news.microsoft.com: Microsoft: Домашняя страница официального сайта. 2019. URL: <https://news.microsoft.com/ru-ru/iot-signals> (дата обращения: 10.03.2020).
- 7 TI Designs: TIDA-01452. I3Mote for Industrial Internet of Things Reference Design. – Texas Instruments, 2017.
- 8 Токтабаев К. Интернет вещей в РК // kapital.kz: Центр деловой информации. 2017. URL: <https://kapital.kz/economic/64083/internet-veshchey-v-rk-real-nost-ili-nesbytochnaya-mechta.html> (дата обращения: 15.03.2020).
- 9 Новости Orion. M2M. Интернет вещей в Казахстане // orion-m2m.com: Комплексные решения Интернета вещей IoT. 2017. URL: <http://orion-m2m.com/ru/news/orionm2m-v-materiale-kapital-kz-internet-veshchey-v-kazahstane-realnost-ili-nesbytochnaya-mechta> (дата обращения: 15.03.2020).
- 10 Компании Курсив. Как развивается одна из крупнейших ИКТ-компаний в мире // kursiv.kz. URL: <https://kursiv.kz/news/kompanii/2020-04/kak-razvivaetsya-odna-iz-krupneyshikh-ikt-kompaniy-v-mire> (дата обращения: 20.04.2020).
- 11 Компании Курсив. IoT Forum Kazakhstan 2019: Тренды в сфере «Интернета вещей» // kursiv.kz: URL: <https://kursiv.kz/news/kompanii/2019-12/iot-forum-kazakhstan-2019-kakie-trendy-ozhidat-kazahstancam-v-sfere> (дата обращения: 19.03.2020).
- 12 K-News. Безопасный город // knews.kg: 2017. URL: <https://knews.kg/2017/07/14/bezopasnyj-gorod-po-vsej-tsentralnoj-azii-no-tolko-ne-v-yrghyzstane> (дата обращения: 23.03.2020).
- 13 Монтин А. М. Исследование технологий для построения аппаратной платформы контроллера IoT // Международный научно-педагогическое



издание Республики Казахстан «Высшая школа Казахстана».-2020. №1. С.296-302.

14 Маркеева А. В. Интернет вещей (IoT): возможности и угрозы для временных организаций – Москва: «Общество: социология, педагогика, психология», 2016.

15 Лочкарева Т. Г. Интернет вещей – Челябинск: «Инновационная наука», 2016.

16 Тихвинский В.О., Бочечка Г.С., Нургожин Б.И., Айтмагамбетов А.З. Сети IoT/M2M: технологии, приложения и регулирование – Алматы: «Ак-Шагыл», 2016.

17 Arduino Boards & Modules // store.arduino.cc: Arduino Official Store. URL: <https://www.arduino.cc> (дата обращения: 02.04.2020).

18 Arduino: платформа для DIY-электроники // amperka.ru: Интернет магазин Arduino & Raspberry Pi. URL: <https://amperka.ru/page/what-is-arduino> (дата обращения: 02.04.2020).

19 Arduino // ru.wikipedia.org: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Arduino> (дата обращения: 02.04.2020).

20 Raspberry Pi 4 // www.raspberrypi.org: Teach, Learn and Make with Raspberry Pi. URL: <https://www.raspberrypi.org> (дата обращения: 03.04.2020).

21 GPIO в Raspberry Pi, эксперимент со светодиодом и кнопкой // ph0en1x.net: Программирование, радиоэлектроника, саморазвитие. URL: <https://ph0en1x.net/86-raspberry-pi-znakomstvo-s-gpio-perekluchatel-i-svetodiod.html> (дата обращения: 04.04.2020).

22 Технические характеристики // studfile.net: URL: <https://studfile.net/preview/11143165/page:2> (дата обращения: 04.04.2020).

23 Введение в Платы Intel® Galileo // intel.ru: Инновационные решения для ЦОД, Интернета вещей и ПК. URL: <https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/support/articles/000005912/boards-and-kits/intel-galileo-boards.html> (дата обращения: 06.04.2020).

24 Блог компании Intel. Практикум «Intel IoT». Galileo Gen2 // habr.com: Сообщество IT-специалистов. URL: <https://habr.com/ru/company/intel/blog/248279> (дата обращения: 06.04.2020).

25 Блог компании Intel. Практикум «Intel IoT». Galileo Gen2 — Linux & Arduino // habr.com: Сообщество IT-специалистов. URL: <https://habr.com/ru/company/intel/blog/24889/> (дата обращения: 08.04.2020).

26 System, Software & Solutions // tibbo.com: Tibbo Project System (TPS). URL: <https://tibbo.com/tps.html> (дата обращения: 08.04.2020).

27 Конструктор для сборки устройств автоматизации Tibbo Project System // schem.net.: URL: <https://schem.net/promelectr/promelectr25.php> (дата обращения: 08.04.2020).

28 What's Orange Pi PC // orangepi.org: Orangepi. URL: <http://www.orangepi.org/orangepipc> (дата обращения: 10.04.2020).

29 Erik Parland. Orange Pi PC — полноценный мини-ПК на Linux // habr.com: Сообщество IT-специалистов. URL: <https://habr.com/ru/post/389355> (дата обращения: 11.04.2020).

30 Orange Pi PC Plus // orangepi.su: Orange Pi сайт. URL: <https://orangepi.su/content.php?p=94&c=Orange%20Pi%20PC%20Plus> (дата обращения: 12.04.2020).

31 OpenELEC OS // openelec.tv: Downloads | OpenELEC Mediacenter. URL: <https://openelec.tv/downloads> (дата обращения: 15.04.2020).

32 H3Droid — один из лучших Android ОС для одноплатных компьютеров с SoC Allwinner H3 // pcminipro.ru: Одноплатные компьютеры Pi. URL: <https://pcminipro.ru/os/h3droid-odin-iz-peredovyh-android-os-dlya-orange-pi> (дата обращения: 15.04.2020).

33 Установка и настройка Lubuntu // lubuntu.ru: Русскоязычное сообщество Lubuntu Linux. URL: <https://lubuntu.ru/viewtopic.php?t=519> (дата обращения: 16.04.2020).

34 Armbian — ОС для одноплатных компьютеров на базе ARM — процессоров // pcminipro.ru: Одноплатные компьютеры Pi. URL: <https://pcminipro.ru/os/armbian-samaya-populyarnaya-os-dlya-odno-palatnyh-kompyuterov-na-baze-arm-protssorov> (дата обращения: 17.04.2020).

35 SSH и sFTP // firstvds.ru: URL: <https://firstvds.ru/technology/ssh-connection> (дата обращения: 28.04.2020).

36 DS18B20 – датчик температуры с интерфейсом 1-Wire // mypractic.ru: оборудование, технологии, разработки. 2016. URL: <http://mypractic.ru/ds18b20-datchik-temperature-s-interfejsom-1-wire-opisanie-na-russkom-yazyke.html> (дата обращения: 28.04.2020).

37 Считывание температуры с помощью датчика DS18B20 и Orange Pi PC (ARMBIAN 5.35) // micro-pi.ru: Программирование микроконтроллеров, Banana Pi и пр. URL: <https://micro-pi.ru-ds18b20-orange-pi> (дата обращения: 01.05.2020).

38 Блог AliExpress. Модуль датчика MQ-135 и его подключение к Orange Pi PC // mysku.ru: Обзор товаров из интернет-магазинов. URL: <https://mysku.ru/blog/aliexpress/48261.html> (дата обращения: 02.05.2020).

39 Подключаем анализатор газов MQ-135 к Raspberry Pi, используя PCF8591 // ph0en1x.net: Программирование, радиоэлектроника, саморазвитие. URL: <https://ph0en1x.net/95-howto-connect-gas-sensor-mq-135-to-raspberry-pi-pcf8591.html> (дата обращения: 02.05.2020).

40 Использование CRON и команды crontab // www.codenet.ru: Всё для программиста. URL: <http://www.codenet.ru/webmast/php/cron.php> (дата обращения: 04.05.2020).

41 Mark Drake. MySQL в Ubuntu 18.04 // digitalocean.com: Digital Ocean – The developer cloud. URL: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/mysql-ubuntu-18-04-ru> (дата обращения: 08.05.2020).

42 Kathleen Juell. Установка веб-сервера Apache в Ubuntu 18.04. // digitalocean.com: Digital Ocean – The developer cloud. URL:

<https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-install-the-apache-web-server-on-ubuntu-18-04-quickstart-ru> (дата обращения: 09.05.2020).