

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»

Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Электронные вычислительные машины»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой ЭВМ  
\_\_\_\_\_ Д.В. Топольский  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ВО  
ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ ПО ФИЗКУЛЬТУРЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУРГУ-090301.2022.211 ПЗ ВКР

Руководитель работы,  
к.т.н., зав. каф. ЭВМ  
\_\_\_\_\_ Д.В. Топольский  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Автор работы,  
студент группы КЭ-405  
\_\_\_\_\_ А.А. Зелениченко  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Нормоконтролер,  
к.п.н., доцент каф. ЭВМ  
\_\_\_\_\_ М.А. Алтухова  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»

Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Электронные вычислительные машины»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой ЭВМ  
\_\_\_\_\_ Д.В. Топольский  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

### **ЗАДАНИЕ**

**на выпускную квалификационную работу бакалавра**  
студенту группы КЭ-405  
Зелениченко Арсению Алексеевичу  
обучающемуся по направлению  
09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

1) **Тема работы:** «Устройство для мониторинга состояния организма во время проведения занятий по физкультуре» утверждена приказом по университету от 12 декабря 2021 г. № 308/141

2) **Срок сдачи студентом законченной работы:** 1 июня 2022 г.

3) **Исходные данные к работе:**

- синтаксис языков программирования – C, C++, Assembler;
- аппаратная платформа разработки – Arduino;
- программная среда разработки – Arduino Software (IDE);
- техническая документация к используемым датчикам и модулям;
- размеры устройства – не более 50x35x25 мм;
- вес устройства – не более 50 г;
- технология передачи данных – Bluetooth Low Energy (спецификация Bluetooth 4.0 или более поздние);

- время работы в активном режиме – не менее 3-х часов;
- время работы в режиме ожидания – не менее 24-х часов.

**4) Перечень подлежащих разработке вопросов:**

- обзор современных аппаратных возможностей организации портативного мобильного устройства мониторинга состояния организма, формирование критериев проектирования устройства;
- определение основных требований к устройству;
- проектирование функциональной структуры устройства, подбор комплектующих и расчет экономической целесообразности реализации аппаратного комплекса;
- реализация аппаратного комплекса для мониторинга состояния организма во время проведения занятий по физкультуре;
- оценка работоспособности, проверка соответствия количественным и функциональным требованиям реализованного аппаратного комплекса.

**5) Дата выдачи задания: 1 декабря 2021 г.**

Руководитель работы \_\_\_\_\_ /Д.В. Топольский/

Студент \_\_\_\_\_ /А.А. Зелениченко/

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Этап	Срок сдачи	Подпись руководителя
Введение и обзор литературы	10.03.2022	
Основные требования		
Функциональные требования	12.03.2022	
Нефункциональные требования	14.03.2022	
Разработка модели, проектирование		
Функциональная схема	16.03.2022	
Функциональная структура системы	18.03.2022	
Подбор комплектующих	21.03.2022	
Расчет экономических затрат	22.03.2022	
Вывод о рентабельности реализации	23.03.2022	
Реализация системы		
Принципиальная схема устройства	28.03.2022	
Реализация подсистем устройства	20.04.2022	
Разработка корпуса	30.04.2022	

Этап	Срок сдачи	Подпись руководителя
Тестирование, отладка, эксперименты		
Тестирование функциональных требований	05.05.2022	
Тестирование количественных требований	10.05.2022	
Компоновка текста работы и сдача на нормоконтроль	16.05.2022	
Подготовка презентации и доклада	24.05.2022	

Руководитель работы \_\_\_\_\_ /Д.В. Топольский/

Студент \_\_\_\_\_ /А.А. Зелениченко/

## АННОТАЦИЯ

А. А. Зелениченко. Устройство для мониторинга состояния организма во время проведения занятий по физкультуре. – Челябинск: ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ВШ ЭКН; 2022, 92 с., 62 ил., библиогр. список – 47 наим.

В рамках выпускной квалификационной работы анализируются возможные технологические решения для организации процесса считывания физиологических параметров, выделяются критерии проектирования устройства и определяется целесообразность реализации на основе обзора аналогичных аппаратных комплексов, представленных на рынке. Формулируются общие, функциональные и нефункциональные требования, предъявляемые к устройству. Осуществляется проектирование функциональной структуры системы и подбор комплектующих, рассчитываются экономические затраты на реализацию, формируется вывод о целесообразности проекта. Реализуется аппаратная и программная составляющая устройства. Проводятся серии отладочных и тестовых опытов с программной частью на стороне оператора. Доказывается способность аппаратного комплекса выполнять требуемый функционал, рассматриваются дальнейшие перспективы развития проекта.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	8
ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ .....	14
1.1 Обзор аналогов .....	16
1.2 Анализ основных технологических решений .....	24
1.3 Вывод.....	29
2 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ.....	30
2.1 Функциональные требования .....	30
2.2 Нефункциональные требования .....	31
3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ.....	33
3.1 Функциональная схема .....	33
3.2 Функциональная структура системы .....	33
3.3 Подбор комплектующих .....	40
3.4 Расчет экономических затрат.....	45
3.5 Вывод о рентабельности реализации .....	46
4 РЕАЛИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА.....	47
4.1 Принципиальная схема устройства.....	47
4.2 Реализация подсистем устройства .....	47
4.3 Разработка корпуса .....	59
5 ТЕСТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ.....	61
5.1 Тестирование функциональных требований.....	61
5.2 Тестирование количественных требований .....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ А Сводная таблица аналогов.....	72
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Код программы.....	74
ПРИЛОЖЕНИЕ В Принципиальная схема .....	77
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Чертежи.....	80
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Характеристики модулей.....	84

## **ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ**

В настоящей пояснительной записке применяются следующие сокращения и обозначения:

**BLE** – Bluetooth Low Energy

**ВОЗ** – всемирная организация здравоохранения

**ТСО** – текущее состояние организма

**ЧСС** – частота сердечных сокращений

**ЭКГ** – электрокардиограмма

## ВВЕДЕНИЕ

Согласно актуальным исследованиям ВОЗ, большинство подростков в мире ведут малоподвижный образ жизни, что негативно сказывается на общем состоянии их здоровья [1]. Вдобавок значительный отрицательный эффект на здоровье накладывается при использовании дистанционных методов обучения, что особенно ярко было выражено в период пандемии, поскольку многие студенты и школьники пренебрегали предложенными учебными заведениями комплексами упражнений и безотрывно проводили весомую часть времени обучения за компьютером [2]. Кроме этого, современные тенденции указывают на повсеместную усталость и чрезмерную перегруженность общества, особенно учащихся старших классов и студентов старших курсов [3], в результате чего обучающиеся стараются отвести свободные минуты на «пассивный» отдых, нежели чем на «активный», закономерно снижая общий уровень физической подготовки и общее состояние здоровья рассмотренной фокус-группы [4, 5]. Подтверждением тезисов является проведенная серия опросов среди студентов, результаты которых представлены в виде столбчатой диаграммы на рисунке 1 [6, 7].

Следует отметить, что в российской и мировой практике разработаны многочисленные методики, комплексы упражнений и рекомендации для различных слоев населения по улучшению физического состояния организма [8], в том числе и в постковидный период [9], и после осложнений от COVID-19 [10]. Однако, вследствие описанных ранее причин, текущий уровень подготовленности подростков и молодежи очень низок, что нередко приводит к возникновению отрицательных реакций даже на физическую нагрузку, с которой организм справлялся несколько месяцев назад. Широко встречаемой на практике реакцией такого типа является обморок, который сигнализирует о возможном наличии проблем с сердечно-сосудистой системой или о нарушении порядка проведения занятий и нередко приводит к получению серьезных травм вплоть до летального исхода [11].

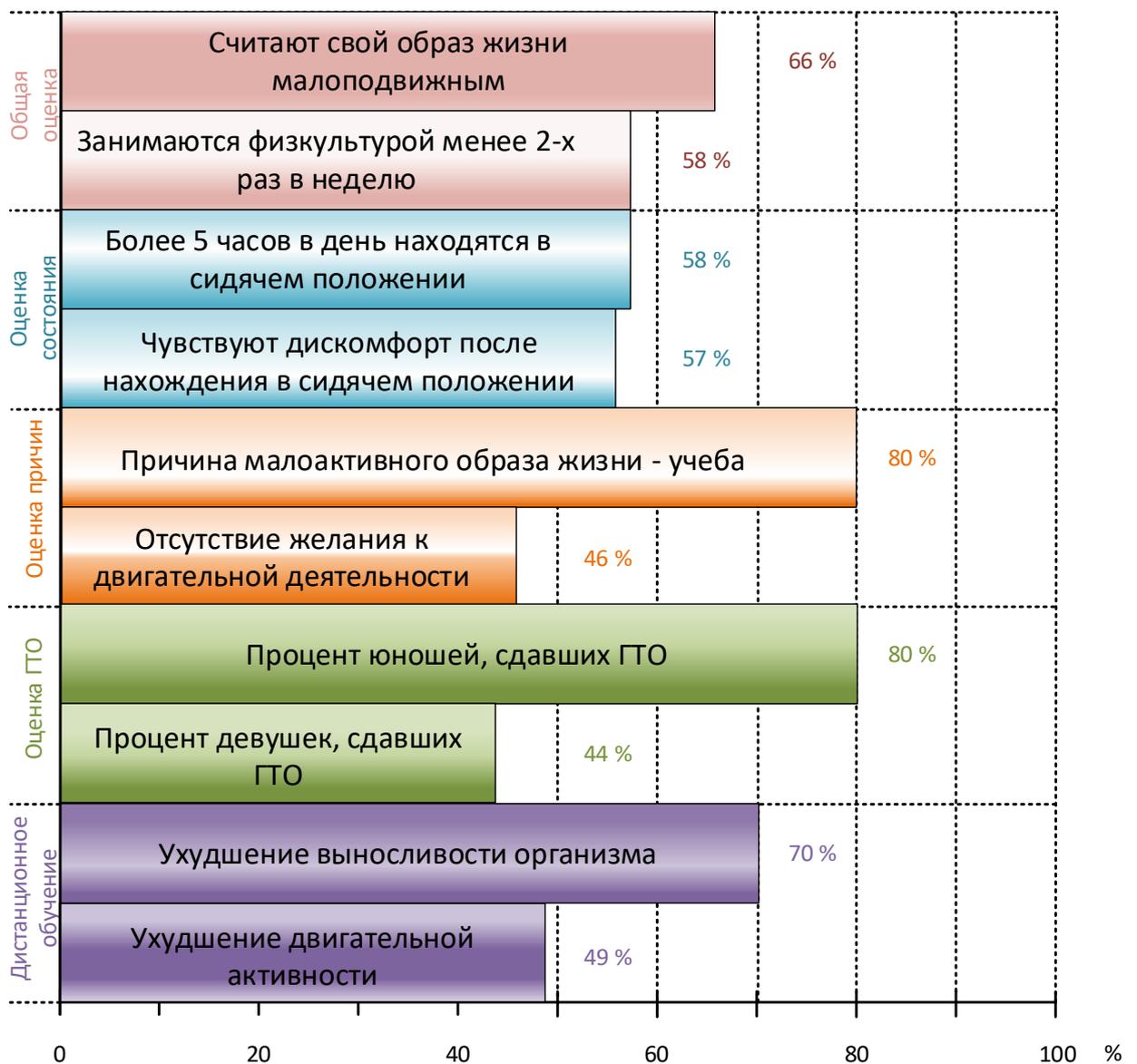


Рисунок 1 – Результаты опросов среди студентов

По словам Министра образования О.Ю. Васильевой, за 2016-2017 год в Российской Федерации на уроках физической культуры погибли 211 учащихся [12]. Статистика по случаям гибели школьников в Челябинской области, согласно Министерству здравоохранения Челябинской области, за последние 5 лет отражена в виде списка [13]:

- 2019 год – 1 случай;
- 2020 год – 2 случая;
- I квартал 2022 год – 1 случай.

По данным Центра синкопальных (обморочных) состояний и сердечных аритмий у детей и подростков, 70 % внезапных смертей школьников в

пределах учебных заведений происходит на уроках физической культуры, что статистически определяет частотность, равную 1.4 случаев на 100000 учеников, рискованные доли групп учащихся по возрастам отражены на рисунке 2. При этом уровень физической активности во время гибели школьников или предшествующей им активностям находится в довольно широком диапазоне – от 2 до 5 зоны ЧСС [14].

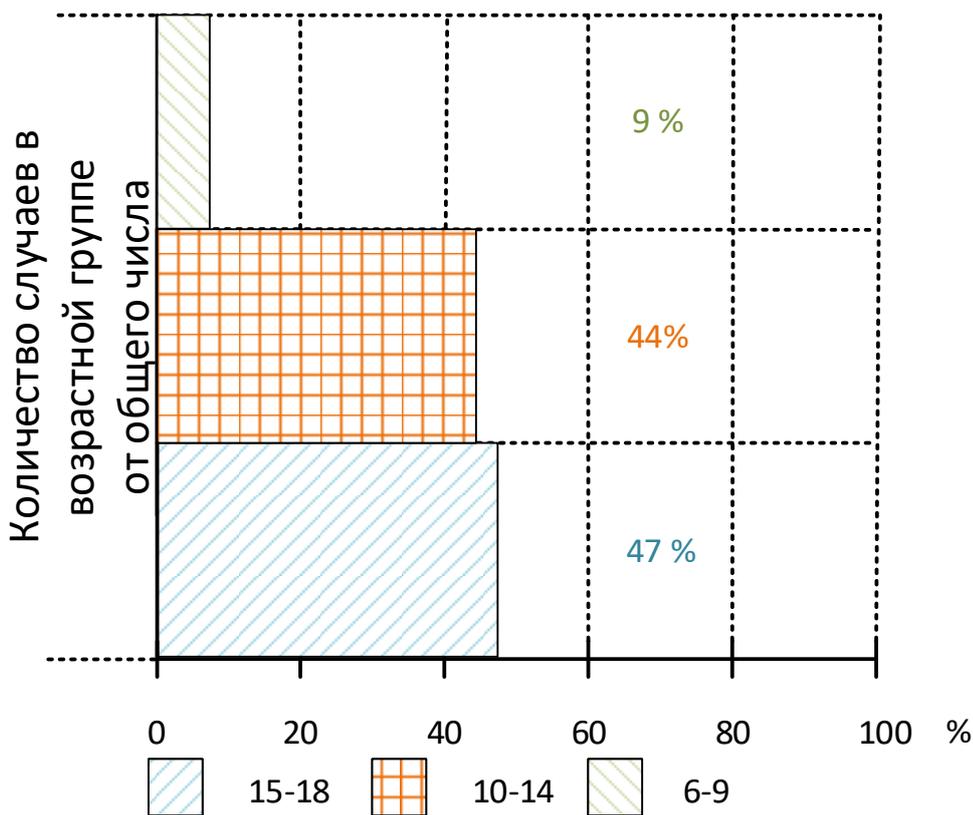


Рисунок 2 – Рисковые доли групп учащихся

В большинстве исследованных случаев причиной гибели учащихся являлось некорректное определение наличия проблем с сердечно-сосудистой системой. При этом законодательство возлагает ответственность за полученные травмы и гибель подопечных в пределах учебного заведения на преподавателей [15]. Для предотвращения несчастных случаев куратору, в простейшем случае, необходимо проводить медицинский осмотр учащихся путем периодического замера ЧСС неинструментальным (пальпаторным) методом в течение всего занятия, что является трудоемкой и длительной процедурой со значительной погрешностью измерения. Использование специального медицинского оборудования (например, напалечного

пульсиоксиметра) позволяет получить требуемую точность, но не уменьшает временные затраты по сравнению с пальпаторным методом. Также у медицинских приборов отсутствует сценарий использования во время движения. Решением описанной проблемы является синтез устройства для мониторинга состояния организма во время проведения занятий по физкультуре.

*Целью* представленной выпускной квалификационной работы является синтез бюджетного малогабаритного модульного носимого устройства, осуществляющего считывание физиологических показателей организма пользователей и их передачу на мобильное устройство куратора занятия для последующей обработки.

*Актуальность темы* заключается в том, что представленные на рынке аппаратно-программные решения мониторинга физиологического состояния организма обладают, в основном, следующими недостатками:

- высокая базовая стоимость и платная подписка на оказание услуг;
- преимущественное взаимодействие профессиональных решений с одной мобильной платформой – iOS;
- импортное производство и зарубежный патент на право собственности, запрещающий возможность модификации и ограничивающий сценарии использования;
- использование проприетарного протокола ANT+ для передачи данных.

Разрабатываемый продукт призван исключить рассмотренные технологические и правовые казусы, проводя политику импортозамещения и способствуя выпуску гибкого, модернизируемого, экономически выгодного решения для нужд образовательных учреждений страны.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд *задач*:

- 1) исследовать современный рынок аналогичных устройств для мониторинга состояния организма, провести детальный анализ применяемых

технологических решении, сформировать критерии проектирования устройства, учитывая выделенные преимущества и недостатки;

2) в рамках технического задания определить характеристики устройства, выбрать аппаратную платформу, технологию передачи данных согласно техническому заданию, обозначить функциональные и нефункциональные требования;

3) осуществить проектирование функциональной структуры устройства, выполнить подбор необходимых комплектующих, произвести расчет финансовых затрат, сделать вывод об экономической эффективности проекта;

4) реализовать аппаратную и программную составляющую устройства;

5) совершить серию приемочных опытов с программной частью на стороне оператора, доказать способность устройства в обеспечении выполнения требуемого функционала.

*Новизна* устройства заключается в высокой ремонтпригодности благодаря свойству модульности, и, как следствие, возникающей возможности модернизации, что увеличивает жизненный цикл устройства. Так, например, возможен сценарий замены аккумуляторной батареи, в то время как аналогичные устройства не предусматривают разборную конструкцию и по завершению жизненного цикла или в случае внутренней поломки приходят в негодность, увеличивая технологические отходы и усиливая пагубное влияние на экологическую среду. Также устройство будет обладать открытым исходным кодом, что позволит другим разработчикам реализовать собственные проекты на базе текущего или улучшить предложенный проект.

*Степень разработанности* рассматриваемой области является довольно высокой, поскольку ученым-исследователям в сфере спортивной медицины требуются устройства мониторинга с целью улучшения физических показателей атлетов. Разработчиками предлагаются различные варианты и формы устройств, методики оценивания, которые постепенно перетекают в общественные спортивные организации, в том числе в ВУЗы, школы и в социальное пространство для индивидуального пользования.

## 1 АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

*Предметной областью* для предложенной темы выпускной квалификационной работы является разработка аппаратного обеспечения носимого устройства с датчиком медико-биологической информации.

Современное общество проводит процесс цифровой трансформации стремительными темпами, что проявляется в значительном увеличении числа высокотехнологичных цифровых устройств в повседневной жизни. Не обошло стороной данное явление и отрасль носимых и имплантируемых электронных аксессуаров [16]. Ученые в авангарде технологического развития давно вынашивают идею интеграции техники и организма человека в единое целое для создания наиболее совершенных механизмов взаимодействия индивида с окружающей средой – от внедрения технологии дополненной реальности до использования технологии искусственного интеллекта, анализа состояния организма встроенным процессором и подключения сознания к сети Интернет. Однако на текущем этапе технологического развития реализация предложенных идеи невозможна, что приводит к совершенствованию и внедрению в общество носимых электронных устройств.

Носимая электроника [17] – класс интеллектуальных носимых автономных электронных устройств, целью которых является обеспечение более комфортного взаимодействия с мощными мобильными устройствами и организация сбора статистических данных. Популярность данного класса техники объясняется желанием человека постоянно иметь с собой сподручный аксессуар для максимального упрощения процесса решения повседневных задач, связанных с взаимодействием со смартфоном, или мониторинга параметров окружающей среды, положения в пространстве и текущего состояния организма.

Однако носимые устройства, в большинстве случаев, являются персонализированными, и взаимодействуют в течении жизненного цикла с мобильными устройствами одного пользователя, что соответствует

тенденциям современного рынка электроники [18]. Организация сбора данных со множества носимых устройств является нетривиальной задачей, для которой необходимо применять специальные технологии согласования подключения, опроса и сбора данных, а также обеспечивать процедуры корректного взаимодействия с мобильным/стационарным устройством оператора. Поэтому, перед началом проектирования, следует проанализировать имеющиеся аналоги разрабатываемого аппаратного устройства на рынке. Идентифицируем критерии по категориям, оценивающих различные аспекты и функциональные особенности рассматриваемых аналогов:

- технологические;
- технические;
- экономические;
- медицинский – тип считываемого физиологического параметра;
- по категории использования;
- по возможности использования.

Технологические критерии включают:

- возможность работы со сторонним ПО;
- технология передачи данных;
- наличие технологии GPS;

Технические критерии определяют:

- форм-фактор устройства;
- физические размеры устройства;
- автономное время работы, источник питания;
- влаго- и пылезащищенность;
- интерфейс взаимодействия;
- наличие ПЗУ.

Экономические критерии обуславливаются:

- стоимостью устройства и сопутствующего оборудования;
- наличием бесплатного ПО для групповых занятий;

*По категории использования устройства делятся на:*

- повседневные;
- профессиональные.

*По возможности использования устройства классифицируются на:*

- индивидуальные;
- групповые.

Также следует акцентировать внимание на стране производства устройства, поскольку от этого зависит конечная стоимость устройства и возникающие правовые аспекты использования.

## **1.1 Обзор аналогов**

*Polar H10* (рисунок 3) [19] – наиболее точный и высокофункциональный профессиональный датчик, предназначенный для улучшения спортивных результатов квалифицированных спортсменов на основе анализа считываемой электроэнцефалограммы. Устройство совместимо с несколькими брендовыми спортивными приложениями-сообществами, такими как Nike+ Run Club, MyFitnessPal, подключение по технологиям ANT+ и Bluetooth возможно одновременно с двумя носимыми или мобильными устройствами, а также со спортивными тренажерами, такими как велотренажер или беговая дорожка. Устройство защищено по стандарту IP68 и подходит для водных видов спорта. В водной среде передача данных производится по каналу 5 ГГц. Polar H10 позволяет пользователю хранить данные об одной 90 минутной тренировке и выгружать их на устройство пользователя при помощи мобильного приложения Polar Beat или Polar Flow. Срок службы батареи типа CR2025 в устройстве составляет 400 часов в режиме Bluetooth Low Energy. Физические размеры устройства: 34x65x10 мм, вес датчика 21 г, вес ремешка 39 г, фактор устройства: нагрудный датчик. Цена устройства составляет 13000 рублей без учета батареи и подписки на ПО.



Рисунок 3 – Устройство Polar H10 [19]

*Polar Verity Sense* (рисунок 4) [20] – оптический высококачественный датчик ЧСС с шестью светодиодами, предназначенный для профессиональных спортсменов, дополнительно оснащённый акселерометром, гироскопом и магнитометром. Форм-фактор позволяет использовать устройство в плечевой зоне руки или височной области головы, а также, в купе со стандартом IP68, в водных видах спорта, прикрепляя датчик к очкам с помощью специальной клипсы. Технологии передачи данных устройства – BLE с одновременным подключением к двум устройствам и ANT+ для подключения к тренажерам в спортивном зале. Встроенная память *Polar Verity Sense* размером 16 МБ позволяет записывать до 600 часов тренировочных данных, а также синхронизировать их с приложением *Polar Flow* для анализа. Физические размеры устройства: 30x30x9.6 мм, вес датчика 5 г, вес наручного ремешка и держателя 12 г. Автономность – до 30 часов, заряд происходит с помощью магнитного зарядного устройства. Диапазон трансляции данных с помощью технологии BLE – до 150 метров в держателе. Цена устройства составляет 12000 рублей без учета подписки на ПО.



Рисунок 4 – Устройство Polar Verity Sense [20]

*Polar A370* (рисунок 5) [21] – повседневный смарт-браслет с непрерывным отслеживанием ЧСС, предназначенный для людей, ведущих активный образ жизни. Устройство обладает функцией формирования персонализированной цели активности на каждый день, мотивирующую пользователя на новые спортивные достижения. Форм-фактор браслета позволяет реализовать максимально возможный функционал в миниатюрном устройстве: пульсометр, мониторинг качества сна, GPS по мобильной связи, измерение скорости и дистанции, отсутствие активности и программы тренировок. Интерфейс взаимодействия осуществляется средствами внедрения полноценного сенсорного экрана размером 13x27 мм и разрешением 80x160 пикселей. Технология BLE обеспечивает взаимодействие фитнес-браслета с мобильными устройствами и устройствами Polar. Polar A370 сертифицирован по стандарту WR30, позволяющему выдерживать случайный контакт браслета с водой и дождем. Устройство имеет аккумулятор емкостью 110 мАч и позволяет круглосуточно отслеживать активность пользователя до 4 дней, включая часовую ежедневную тренировку. Функция заряда браслета реализована при помощи интерфейса micro-USB. Вес устройства составляет 37.3 г. Цена устройства составляет 15490 рублей.



Рисунок 5 – Устройство Polar A370 [21]

*MZ-Switch* (рисунок 6) [22] – multifunctional device for heart rate monitoring with the help of a sensor based on technology

фотоплетизмографии. Форм-фактор типа «таблетка» позволяет реализовать все возможные сценарии использования: в качестве смарт-часов, нагрудного и наплечного датчика. Подключение датчика может осуществляться к двум мобильным устройствам по технологии BLE, а также существует возможность подключения к тренажерам по технологии ANT+. С помощью совместимого только с данным устройством приложения можно получать статистику тренировок в реальном времени на дисплее смарт-часов или на экране в тренажерном зале. MZ-Switch позволяет сохранять данные тренировок в постоянной встроенной памяти или выгружать тренировки в сообщество приложения, отслеживая свой прогресс и результаты друзей по клубу. Также MZ-Switch может устанавливать ежемесячные цели физической активности, рекомендованные ВОЗ. Устройство питается от Li-Pol аккумулятора, обеспечивающего автономную работу в течение 3-6 месяцев без подзарядки, Сертификация IP68 допускает использование MZ-Switch в водных видах спорта с погружением на глубину до 10 м. Цена комплекта – 16000 рублей, для работы ПО необходима оплата лицензионного сбора.



Рисунок 6 – Устройство MZ-Switch [22]

MZ-3 (рисунок 7) [23] – базовое решение для мониторинга ЧСС в линейке MZ. Подключение устройства возможно одновременно с двумя устройствами по технологии BLE, со спортивными тренажерами, клубными экранами и концентраторами MyZone по технологии ANT+ в режиме реального времени, а также с некоторыми устройствами, поддерживающими аналоговую технологию передачи 5.3 кГц. MZ-3 имеет встроенную память для сохранения результатов тренировки в течение последних 16 часов и позволяет

выгружать информацию в приложение MyZone For Club, отслеживая свой рейтинг достижений, основанный на рекомендациях ВОЗ, взаимодействовать с пользователями сообщества MyZone по всему миру, а также устанавливать индивидуальные цели с помощью очков усилий. Устройство сертифицировано по стандарту IP68, обеспечивающему защиту от пота и брызг. MZ-3 использует формулу исследовательского центра HUNT для расчета максимальной ЧСС, а также позволяет измерять сердечный ритм в состоянии покоя и определять 5 зон интенсивности сердечного ритма. Заряд устройства осуществляется с помощью магнитного кабеля с интерфейсом USB, заявленный срок автономной службы – до 300 часов. Устройство может синхронизироваться со смарт-часами Apple Watch или Android Wear. Цена датчика MZ-3 составляет 11000 рублей, доступно бесплатное приложение на русском языке для iOS и Android.



Рисунок 7 – Устройство MZ-3 [23]

*Mi Band 6* (рисунок 8) [24] – широко распространенный в мире фитнес-браслет от компании Xiaomi, позволяющий в режиме реального времени индивидуально отслеживать ЧСС и сатурацию пользователя. По сравнению с предшествующими аналогами, *Mi-Band 6* является повседневным функциональным устройством с различными сценариями использования. *Mi Band 6* не имеет функцию группового мониторинга и предназначен для использования исключительно в личных целях. Интерфейс управления браслета представлен в виде AMOLED экрана диагональю 1.56 дюйма разрешением 486x152 пикселей. Аккумуляторная батарея позволяет устройству автономно функционировать до 12 дней, зарядка осуществляется с

помощью магнитного кабеля с USB-интерфейсом. Устройство оснащено акселерометром и защитой от воды и пыли по сертификации IP68. Цена Mi Band 6 составляет 4000 рублей, ПО поставляется бесплатно.



Рисунок 8 – Фитнес-браслет Mi-Band 6 [24]

*Apple Watch Series 7* (рисунок 9) [25] – самые популярные смарт-часы на рынке носимой электроники от компании Apple, предназначенные для повседневного использования, но также позволяющие отслеживать физиологические показатели в течение тренировок пользователя. Функционально смарт-часы могут отслеживать ЧСС и сатурацию, уведомлять о слишком низком и высоком пульсе, нерегулярном ритме сердца, выполнять процедуру ЭКГ, обнаруживать падение пользователя и осуществлять экстренный вызов при чрезвычайных ситуациях. В устройстве реализована защита от воды и пыли по стандарту IP6X, гарантирована водонепроницаемость на глубине до 50 метров. Интерфейс взаимодействия с пользователем представляет LTPO OLED экран диагональю 1.69 дюйма, разрешением 352×430 пикселей. В устройстве установлен двухъядерный процессор Apple S7, емкость встроенного накопителя – 32 Гб, масса без ремешка – 32 г, размеры устройства 41×35×10.7 мм. Полноценное взаимодействие устройства возможно лишь с продуктами компании Apple посредством технологии связи Wi-Fi 5ГГц, BLE 5.0, LTE (eSIM), реализована поддержка GPS. Автономное функционирование обеспечивается в течение 2

дней, заряд происходит с помощью специального магнитного кабеля. Цена устройства начинается от 42000 рублей.



Рисунок 9 – Смарт-часы Apple Watch Series 7 [25]

*Garmin Forerunner 55* (рисунок 10) [26] – многофункциональные фитнес-часы для людей с любым уровнем физической подготовки, помогающие отслеживать статистику тренировок и достижения спортивных целей. Фитнес-часы позволяют отслеживать геопозицию, ЧСС, предлагают адаптивные программы индивидуальных тренировок, продвинутые функции анализа при беге (стратегии темпа, время финиша, Race Pro), встроенные профили занятий, рекомендации по восстановлению. Интерфейс взаимодействия с пользователем реализован в виде 1.04 дюймового экрана с разрешением 208x208 пикселей, размер устройства 42x42x11.6 мм. Корпус *Garmin Forerunner 55* обеспечивают влагозащищённость на глубине до 50 метров. Алгоритм золотого стандарта *Garmin* работает исключительно хорошо, когда спортсмен находится в движении, поэтому наибольшая точность достигается в беговых видах спорта. Протоколы обмена данными с мобильными устройствами и компьютерами: BLE 5.0, ANT+. Автономное время работы с функцией GPS составляет до 20 часов и до 14 дней в режиме умных часов. Цена устройства составляет 29000 рублей, ПО для индивидуального мониторинга поставляется отдельно.



Рисунок 10 – Фитнес-часы Garmin Forerunner 55 [26]

*Пульсометр HRM-DUAL* (рисунок 11) [27] – базовое профессиональные устройство в серии продуктов компании Garmin для мониторинга сердечного ритма и выполняемой мощности работы в режиме реального времени, использующее технологии передачи данных ANT+ и BLE. Пульсометр может взаимодействовать с фитнес-часами фирмы Garmin, а также с онлайн-приложениями для тренировки и фитнес-оборудованием в тренажерных залах, связь обеспечивается в диапазоне до 3 м. Размеры модуля составляют 62x34x11 мм, масса 54.4 г. Пульсометр обеспечивает защиту от воды и брызг по стандарту WR30 без возможности использования устройства под водой. Питание обеспечивается от сменной батареи CR2032, что при ежедневной часовой тренировке гарантирует среднее время работы устройства до 3.5 лет. Средняя цена устройства на рынке начинается от 9000 рублей.



Рисунок 11 – Пульсометр Garmin HRM-DUAL [27]

Сгруппируем характеристики рассмотренных аналогов в *сводную таблицу А.1* (приложение А) для упрощения последующего анализа.

## 1.2 Анализ основных технологических решений

На основании приведенных аналогов разрабатываемого продукта и сводной таблицы их характеристик (таблица А.1), проведем анализ основных используемых технологических решений, результатом которого будет являться список требований (критериев) к разрабатываемой системе.

Во всех случаях *апробируемым физиологическим параметром* для оценивания ТСО пользователя является ЧСС, в некоторых из представленных аналогов параметр определяется с большей точностью при помощи получения отведения (вектора) I электрокардиограммы (рисунок 12) [28], что не соответствует полноценному исследованию сердца, но позволяет определить фибрилляцию предсердий – наиболее распространённый вид сердечной аритмии. Для проведения измерений необходимо как минимум два электрода, расположенных или близко к сердцу, или на конечностях. В устройстве Apple Watch, согласно инструкции по эксплуатации, измерение ЭКГ возможно лишь при статичном положении тела, путем прикладывания второй руки на колесико устройства [29], поэтому использование устройства для определения ЧСС методом ЭКГ при динамическом сценарии является нецелесообразным.

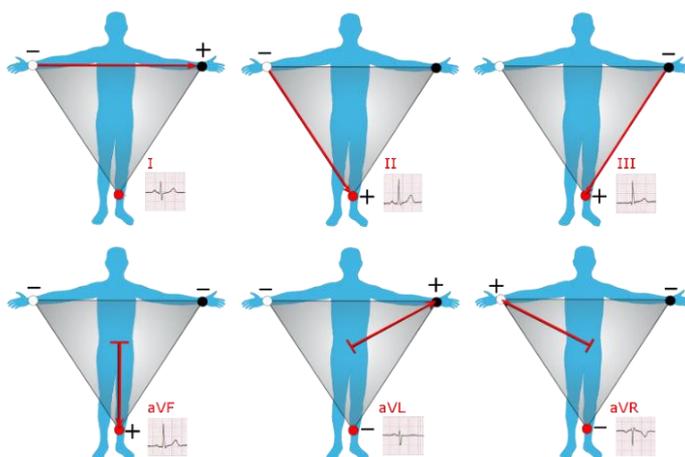


Рисунок 12 – Схема установки электродов для измерения ЭКГ в 12 отведениях [28]

В устройствах Polar H10 и MZ-Switch определение ЧСС по ЭКГ имеет еще большую точность, поскольку два электрода приборов находятся ближе к сердцу, что позволяет, при их корректном использовании, получать ЭКГ даже

в движении. Но методика измерения также имеет специфику: выдаваемая ЭКГ является сильно сглаженной по сравнению с ЭКГ, получаемой при проведении процедуры ЭКГ в стационарных условиях [30] (рисунок 13).



Рисунок 13 – Сравнение результатов ЭКГ от электрокардиографа и устройства Polar H10 [30]

Показатель сатурации (уровня кислорода в крови) не является объективным для оценки ТСО, так как он отражает эффективность работы сердечно-сосудистой и дыхательной системы. Методика измерения сатурации является энергозатратной и сложной в исполнении, показатель необходим лишь в профессиональном спорте.

Следовательно, наиболее целесообразным для поставленной задачи является использование физиологического показателя ЧСС для оценки ТСО, так как в задачи разработки не входит критерий улучшения физических результатов спортсмена, а лишь отслеживание превышения нормативных составляющих на занятиях.

*Форм-фактор* исследуемых аналогов напрямую определяет области использования, технические характеристики, возможность компактного переноса и быстрой передачи устройств между пользователями во время проведения занятий.

Сценарии использования кардиопередатчиков форм-фактора типа нагрудный являются узкоограниченными, поскольку их, преимущественно, используют при организации профессиональных мероприятий по физической культуре для спортсменов с высоким уровнем подготовки, что обусловлено критической важностью точности измерения физиологических параметров. В

предложенном сценарии использования – на занятиях по физической культуре – преподаватели будут испытывать затруднения с корректным экипированием обучающихся, а также с обеспечением комплектности, быстрой штатной транспортировки и хранением.

Форм-фактор типа наплечный имеет более широкий спектр применений, однако частая смена пользователей приведет к ускорению износа соединительных клипс, впитыванию обильного количества пота в ремень, сделанный на тканевой основе и сложностям с экипированием обучающихся. Рассмотренные форм-факторы устройств следует применять в специальных секциях, где будет исключен параметр высокой частоты смены пользователя.

Для поставленных целей более релевантным является использование форм-фактора типа браслет, так как он удовлетворяет наибольшему количеству поставленных требований технического задания. При этом следует отметить, что точность считываемых показателей будет меньше вследствие физиологических особенностей измерения.

Немаловажным критерием выбора устройства является *страна производства*. На основании таблицы А.1 можно заключить, что каждый из рассмотренных аналогов является иностранным продуктом и производится за рубежом, а ПО, входящее в комплект поставки с ними, в большинстве случаев, не поддерживает русскоязычный интерфейс.

Следовательно, разработка собственного аппаратного и программного обеспечения рассматриваемого класса устройств является приоритетной задачей для выполнения программы импортозамещения.

*Критерий цены* имеет наибольшее влияние на окончательный выбор пользователя. В рассмотренных аналогах разрабатываемого устройства наблюдается следующая корреляционная зависимость – чем выше точность измеряемого параметра и чем больший программный функционал реализован в устройстве, тем больше его цена. Ограничение бюджета, установленное техническим заданием, позволяет рассматривать лишь устройства в ценовой категории до 4000 рублей, так как среднее количество учащихся в группе

предполагается равным 20, что ведет к резкому возрастанию финансовой нагрузки на учебные учреждения. При этом в расчете не учитывается стоимость программного обеспечения для организации мониторинга ТСО при проведении групповых занятий, которое может превышать стоимость всего оборудования (в годовом периоде), что сильнее укрепляет позицию об необходимости разработки собственного аналога. В случае отказа от разработки, подходящими устройствами, согласно данному критерию, могут являться устройства Mi-Band 6 и Garmin HRM-DUAL.

Одним из основополагающих критериев выбора, согласно ТЗ, является *наличие ПО, позволяющего организовать проведение групповых занятий по физической культуре*, а также наличие ПО для отслеживания индивидуальных характеристик и достижений. Учитывая технологические особенности, Mi-Band 6 и Apple Watch, использующих технологию BLE, могут сопрягаться без технических сложностей лишь с приложением разработчика аппаратного обеспечения (Mi Fit и Watch соответственно). Организация же групповых занятий с данными устройствами не представляется возможным, поскольку они не могут передать данные в устройство куратора, так как жестко привязаны на взаимодействие лишь с пользовательским смартфоном. Для оставшихся устройств, базирующихся на технологиях BLE и ANT+, представлена реализация персонального, в том числе и бесплатного, и группового проприетарного ПО. Поскольку целевой задачей является организация групповых занятий, то, в случае отказа от разработки, выбор устройств Mi-Band 6 и Apple Watch является нецелесообразным.

В рассмотренных устройствах доминирующими *технологиями передачи данных* являются BLE и ANT+. Рассмотрим подробнее каждую из них.

BLE (Bluetooth Low Energy) [31] – технология связи ближнего диапазона, основным преимуществом которой является низкое энергопотребление во всех режимах работы, по сравнению с технологией Bluetooth. Количество используемых каналов BLE – 40, частота между каналами – 2 Гц, дальность связи на открытой местности – до 100 м.

ANT+ [32] – технология беспроводной защищённой передачи данных, ориентированная на использование в спортивном оборудовании. Количество используемых каналов ANT+ – 83, частота между каналами – 1 Гц, дальность связи на открытой местности – до 30 м.

Основными отличиями BLE от ANT+ являются:

- 1) высокая энергоёмкость ANT+ (при сканировании и инициировании связи, при обмене данными);
- 2) широкая распространённость технологии BLE на современных смартфонах (97,55% рынка согласно Яндекс Маркету);
- 3) различная структура пакетов у стандартов;
- 4) сигнал ANT+ могут принимать несколько устройств, в то время как сигнал BLE может принимать максимум два мобильных компьютера.

Технологии имеют одинаковую скорость передачи данных (1 Мбит/с), частотный диапазон (2,4-2,483 ГГц), тип модуляции (GFSK) и высокий уровень безопасности данных [33]. Однако, вследствие проприетарности протокола ANT+ и необходимости покупки дополнительного оборудования для реализации связи между устройствами и мобильным компьютером куратора, следует отдать предпочтение в пользу выбора технологии BLE.

*Физические габариты* устройств форм-фактора типа браслет не выходят за рамки интервала значений 50x40x30 мм, следовательно, будем считать его эталонным. При проектировании также следует учитывать корреляционную линейную зависимость между ёмкостью аккумуляторной батареи и физическими габаритами устройства. Защита от воды и брызг отсутствует, так как сертификация требует значительных дополнительных финансовых затрат.

*Автономное время работы и источники питания* определяют временные показатели функционирования устройства. В большинстве из представленных устройств форм-фактора типа нагрудный устанавливаются заменяемые элементы питания типа «таблетка» CR2032 и CR2025. В оставшихся устройствах, имеющих форм-фактор типа браслет и наплечный, устанавливаются Li-Ion или Li-Pol аккумуляторы различных ёмкостей.

Согласно таблице А.1, для удовлетворения поставленных задач автономной работы до 24 часов и активной работы до 3 часов следует использовать аккумуляторные Li-Pol батареи емкостью не менее 250 мАч.

Обеспечение взаимодействия устройства и пользователя осуществляется посредством выбранного разработчиком *интерфейса*. Большинство из представленных аналогов разрабатываемого устройства имеют графический сенсорный интерфейс для форм-фактора типа браслет и звуковой или тактильный интерфейс для оставшихся форм-факторов.

Поскольку реализация графического интерфейса в виде ЖК экрана со встроенным тачскрином приведет к значительному увеличению финансовых затрат на реализацию, было принято решение использовать графический интерфейс в виде ЖК экрана и сенсорной кнопки. Также будет использована тактильная обратная связь, сигнализирующая о превышении нормативных показателей, реализованная путем внедрения вибромотора.

### 1.3 Вывод

В результате обзора и анализа аналогов разрабатываемого аппаратного комплекса была оправдана необходимость реализации устройства и был выработан ряд критериев проектирования, отраженных в таблице 1.

Таблица 1 – Критерии проектирования устройства

Критерий	Значение
Апробируемый параметр	ЧСС
Форм-фактор	Браслет
Бюджет проекта, руб.	< 4000
Технология передачи данных	BLE
Время работы в активном режиме, ч	> 3
Интерфейс взаимодействия	ЖК экран
Особенности	Наличие тактильной обратной связи Наличие сенсорной кнопки

## 2 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

К разрабатываемому устройству предъявляются следующие *общие требования (бизнес-правила)*:

1) использование свободного протокола связи Bluetooth, спецификация Bluetooth Low Energy, и его стандартных профилей GATT (Generic Attribute Profile), шифрование по стандарту AES–128 [34];

2) использование открытого программного обеспечения Arduino IDE [35] при программировании устройства;

3) использование аппаратных средств, совместимых с платформой Arduino [35], технической документации и свободно-распространяемых библиотек для их корректного функционирования;

4) использование стандартного офисного пакета Microsoft Office или специального открытого программного обеспечения для проектирования электрических схем, создания моделей, оформления технической документации к устройству;

5) использование открытого мобильного программного обеспечения nRF Connect для первичной проверки корректности получения данных согласно установленным требованиям.

### 2.1 Функциональные требования

К разрабатываемому устройству предъявляются следующие функциональные требования:

1) включение экрана по нажатию сенсорной кнопки на заданный временной промежуток с целью экономии энергии;

2) вывод текущего значения заряда аккумуляторной батареи (при включенном экране);

3) вывод измеренного значения ЧСС пользователя и динамическая индикация процесса работы устройства (при включенном экране);

- 4) вывод предупреждения в случае отсутствия контакта с кожей пользователя (при включенном экране);
- 5) вывод адреса Bluetooth устройства (при включенном экране);
- 6) вывод предупреждения пользователю на OLED экран в случае превышения нормированных значений ЧСС (при включенном экране);
- 7) тактильная индикация предупреждения в случае превышения нормативных значений ЧСС путем включения вибромотора на некоторый промежуток времени;
- 8) наличие функции перехода в режим ожидания при отсутствии контакта с кожей пользователя;

## **2.2 Нефункциональные требования**

К разрабатываемому устройству предъявляются следующие нефункциональные требования:

- 1) напряжение питания системы – 3.3 В;
- 2) наличие интерфейса USB Type-C для обеспечения процесса заряда;
- 3) использование аккумуляторной батареи емкостью не менее 250 мАч;
- 4) ток заряда системы – не более  $0.5C$  мА, где  $C$  – емкость аккумуляторной батареи;
- 5) наличие систем защиты аккумулятора от перезаряда и переразряда;
- 6) индикация процесса заряда аккумуляторной батареи;
- 7) первичное время установления ЧСС – не более 10 секунд;
- 8) наличие механизма фильтрации ложных значений ЧСС;
- 9) индикация процесса функционирования датчика ЧСС;
- 10) использование тканевого ремешка и пряжки крепления устройства к руке пользователя;
- 11) дальность связи устройства и смартфона куратора на открытой местности – не менее 50 м;

12) использование GATT профиля Heart Rate Profile для передачи измеряемых значений ЧСС;

13) гипоаллергенность и долговечность материалов корпуса;

14) габаритные размеры устройства – не более 50x35x25 мм;

15) вес готового устройства – не более 50 г;

16) диапазон эксплуатационных температур – от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+30^{\circ}\text{C}$ , относительной влажности от 30 до 80 % при  $T=25^{\circ}\text{C}$ , атмосферного давления от 630 до 800 мм.рт.ст.;

17) время работы в автономном режиме – не менее 3-х часов;

18) время работы в режиме ожидания – не менее 24-х часов.

## 3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ

### 3.1 Функциональная схема

Представим функциональную схему устройства (рисунок 14), где потоки данных представлены синими линиями, а потоки энергии красными линиями соответственно.

### 3.2 Функциональная структура системы

В системе предлагается выделить функциональные подсистемы, отражённые в таблице 2.

Таблица 2 – Функциональные подсистемы

№	Название подсистемы	Функции подсистемы
П1	Подсистема электропитания	Осуществляет питание модулей и устройств системы, заряд, защиту и программный контроль за текущим уровнем заряда Li-Pol батареи
П2	Подсистема сбора данных с датчика	Осуществляет динамическое считывание ЧСС
П3	Подсистема преобработки данных	Осуществляет преобразование данных в формат ASCII для отправки данных на устройство оператора, формирует текущий статус датчика
П4	Подсистема отправки данных	Осуществляет отправку данных с помощью GATT профиля Heart Rate Profile технологии BLE [34], выполняет процедуры инициализации и разрыва соединения с устройством оператора
П5	Подсистема интерфейса взаимодействия с пользователем	Осуществляет вывод на OLED экран по требованию пользователя текущего уровня ЧСС, заряда батареи и адрес Bluetooth

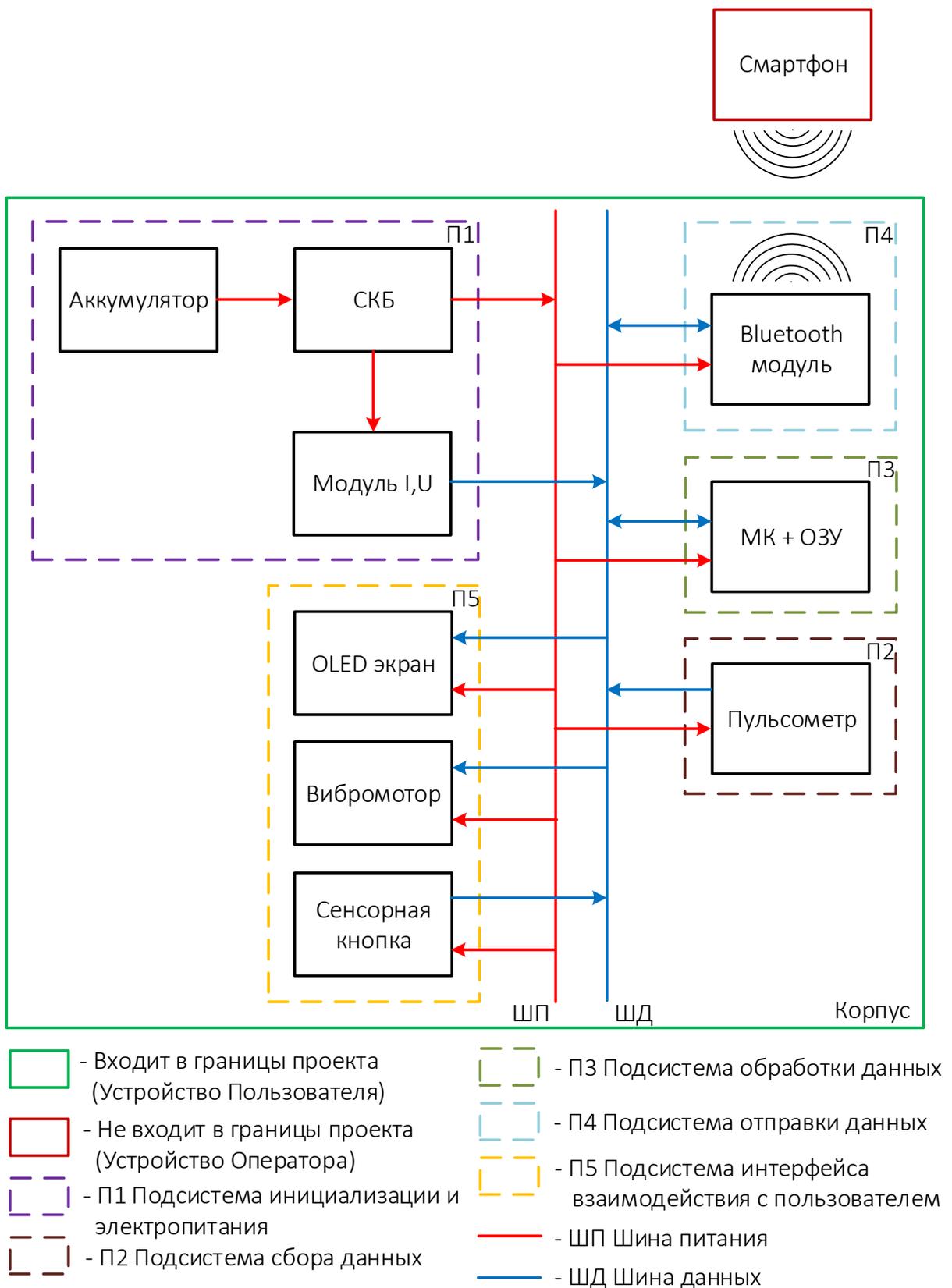


Рисунок 14 – Функциональная схема устройства

Рассмотрим подробно модули, реализующие каждую из подсистем.

*Модуль инициализации и электропитания* является основополагающим в обеспечении корректной работоспособности системы. Составными частями модуля являются:

- аккумулятор литий-полимерный, напряжение питания от 2.7 до 4.2 В;
- система контроля батареи, обеспечивающая корректный процесс заряда аккумулятора, а также защиту от переразряда и перезаряда;
- модуль тока и напряжения, на основе которого можно получить текущий остаток емкости АКБ. Возможно упразднение данного модуля и введение в систему делителя напряжения на основе двух резисторов, однако энергоэффективность такого решения будет в несколько раз меньше.

Модуль имеет следующий функционал:

- инициализация устройства при включении;
- получение текущего уровня заряда устройства.

Язык программирования: C++, Assembler.

*Модуль считывания показателей* циклично получает текущие значения физиологических параметров на основе отражения красного луча и луча ИК-диапазона, излучаемых датчиком, в течение заданного или рассчитываемого промежутка времени. Далее считанные данные передаются в микроконтроллер для последующей обработки.

Модуль имеет следующий функционал:

- считывание частоты сердечных сокращений;
- получение текущего положения датчика относительно кожного покрова пользователя путем расчета расстояния, измеряемого ИК-лучом.

Язык программирования: C++.

*Модуль обработки данных* предназначен для расчета, фильтрации и временного хранения значения ЧСС, а также для осуществления обмена информацией между модулями считывания показателей, передачи данных и интерфейса взаимодействия с пользователем.

Модуль имеет следующий функционал:

- фильтрация получаемых значений ЧСС;

- формирование данных для отправки в модуль передачи данных;
- переопределение значения глобальных переменных для вывода показателей системы на экран пользователя.

Язык программирования: C++, Assembler.

*Модуль передачи данных* осуществляет передачу данных на смартфон оператора с помощью технологии BLE. Если устройство было обнаружено смартфоном, происходит передача подготовленных значений из модуля обработки данных в приложение на смартфоне для последующего анализа.

Модуль имеет следующий функционал:

- соединение со смартфоном;
- разрыв соединения, инициализируемый со стороны смартфона;
- передача данных о ЧСС и положении датчика на смартфон.

Язык программирования: C++.

*Модуль интерфейса взаимодействия с пользователем* предназначен для организации процесса обмена информацией между устройством и пользователем. Составными частями модуля являются:

- OLED экран, выводящий по требованию пользователя показатель ЧСС, заряд аккумуляторной батареи и адрес Bluetooth устройства;
- сенсорная кнопка, включающая экран на короткий промежуток времени;
- вибромотор, тактильно сигнализирующий о превышении нормативного уровня ЧСС.

Модуль имеет следующий функционал:

- включение экрана по требованию пользователя;
- отключение экрана после отпускания кнопки с задержкой в несколько секунд.

Язык программирования: C++, Assembler.

Визуализация данных компонентов была выполнена в программном обеспечении RAMUS по графической нотации IDEF0 в виде рисунков 15 – 21.

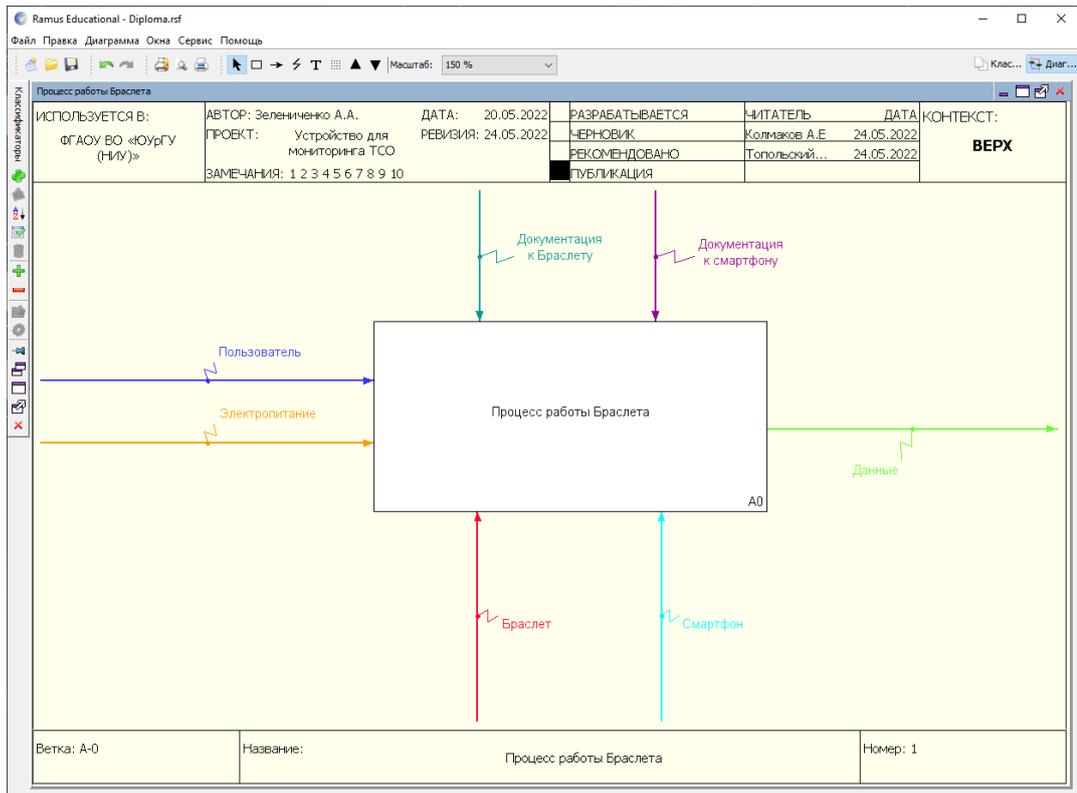


Рисунок 15 – Функционирование процесса работы браслета

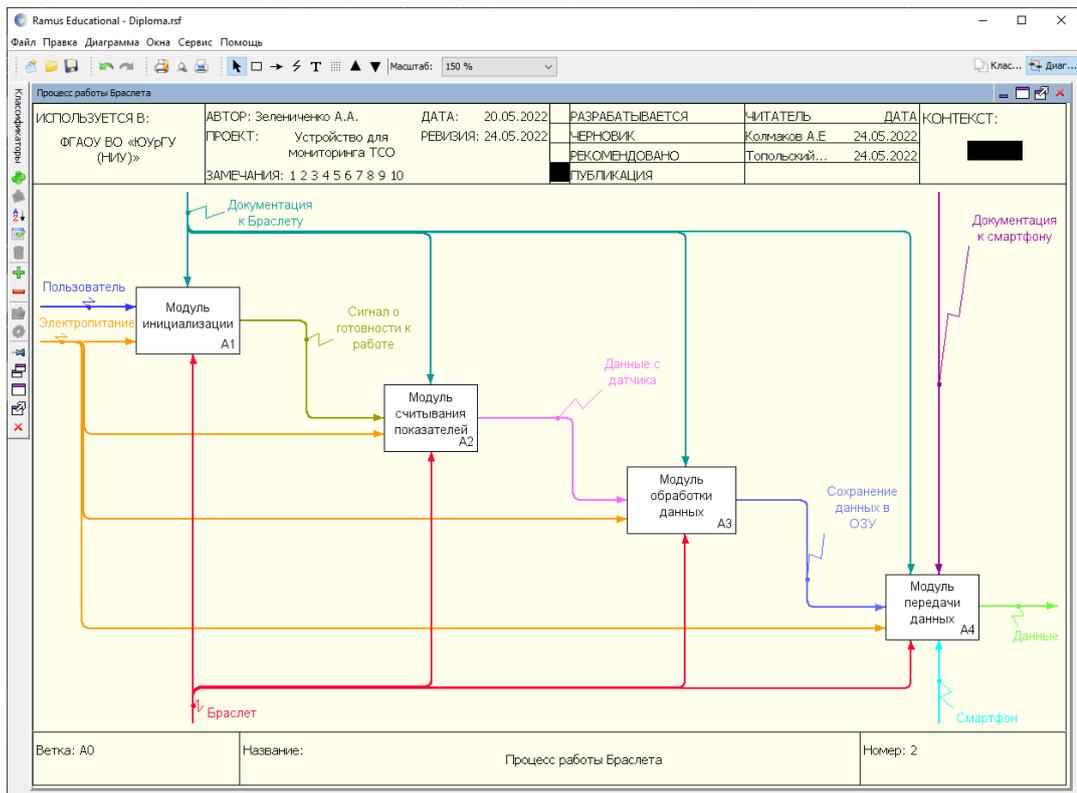


Рисунок 16 – Декомпозиция блока «Процесс работы браслета»

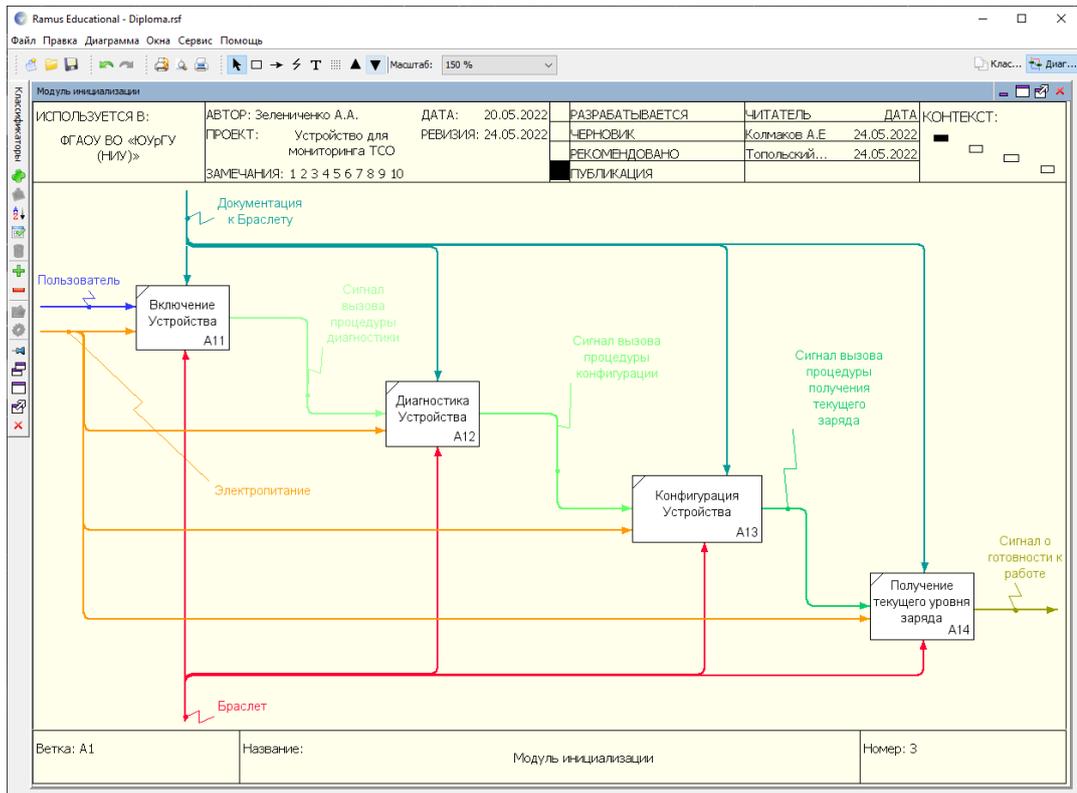


Рисунок 17 – Декомпозиция блока «Модуль инициализации»

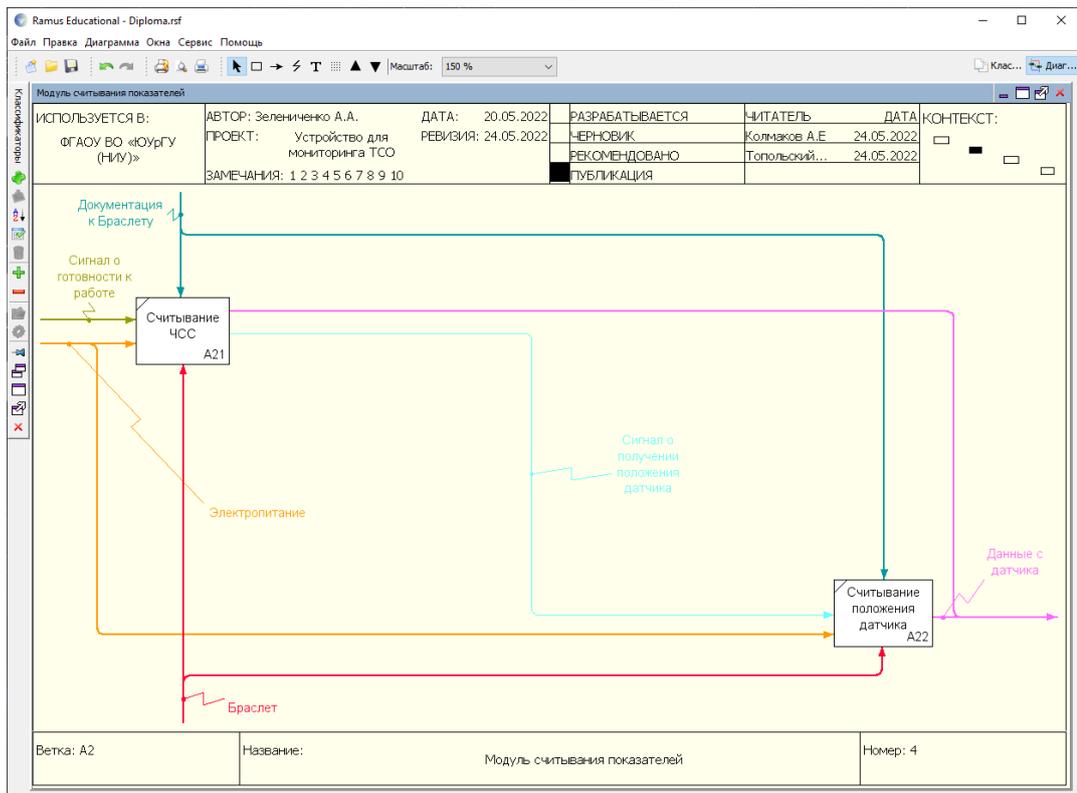


Рисунок 18 – Декомпозиция блока «Модуль считывания показателей»

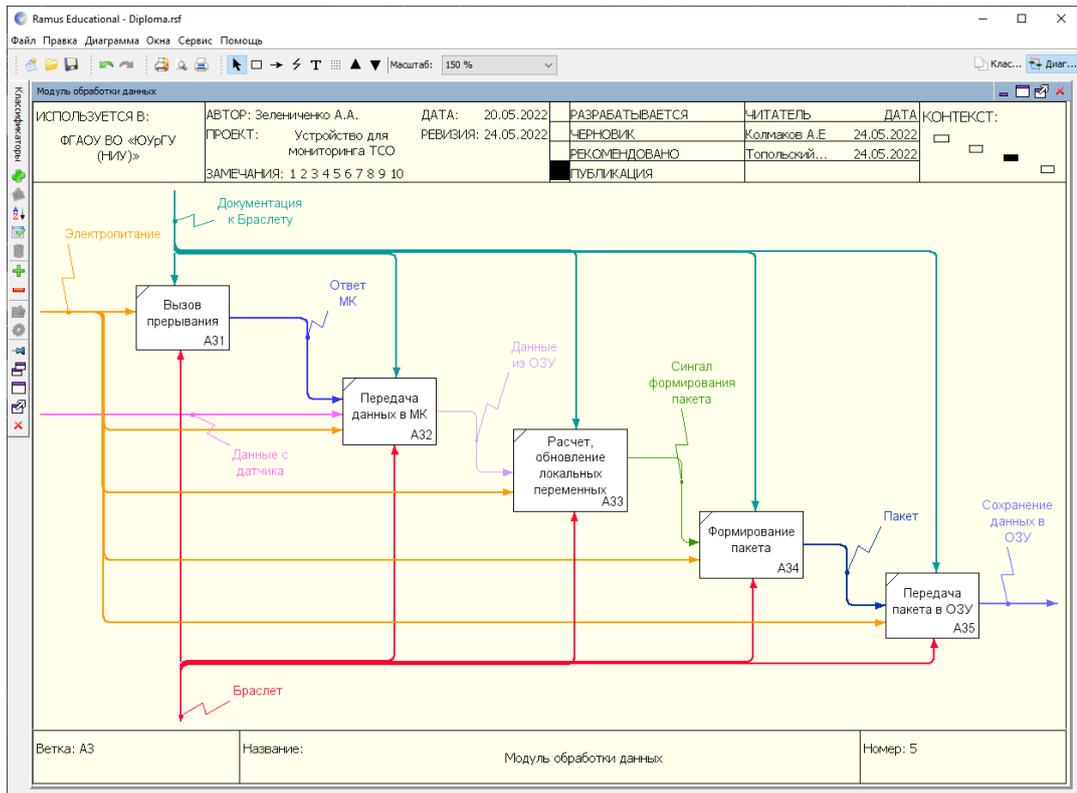


Рисунок 19 – Декомпозиция блока «Модуль обработки данных»

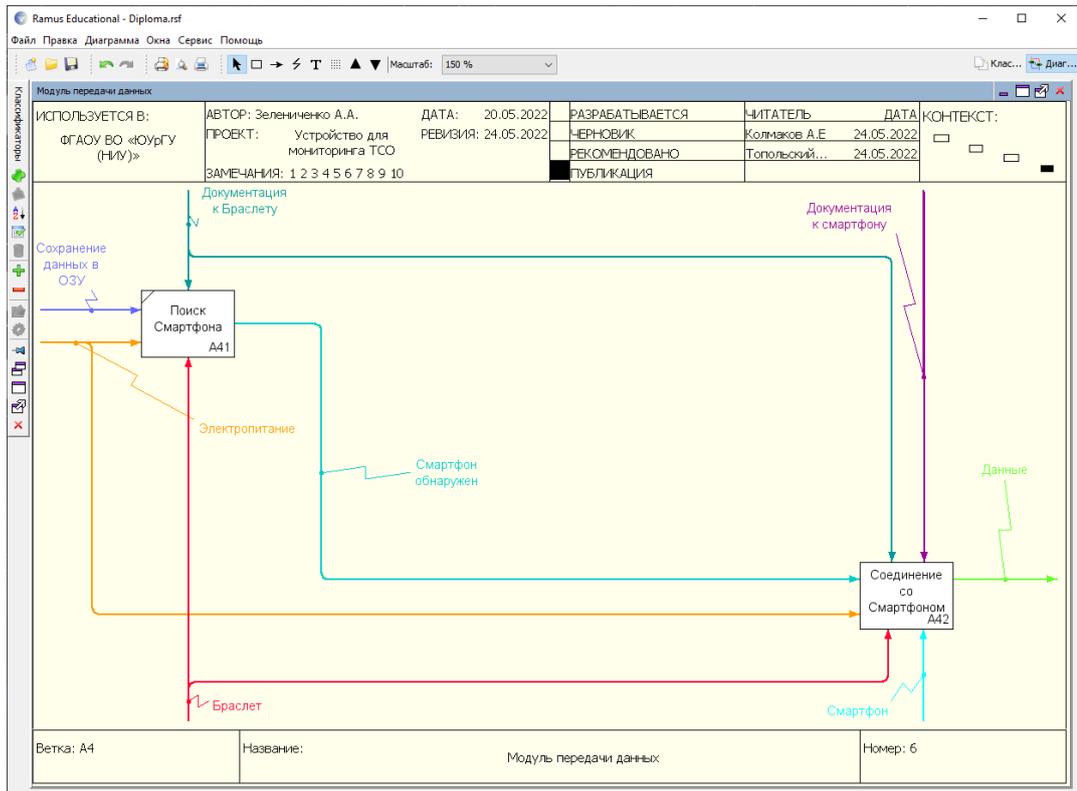


Рисунок 20 – Декомпозиция блока «Модуль передачи данных»

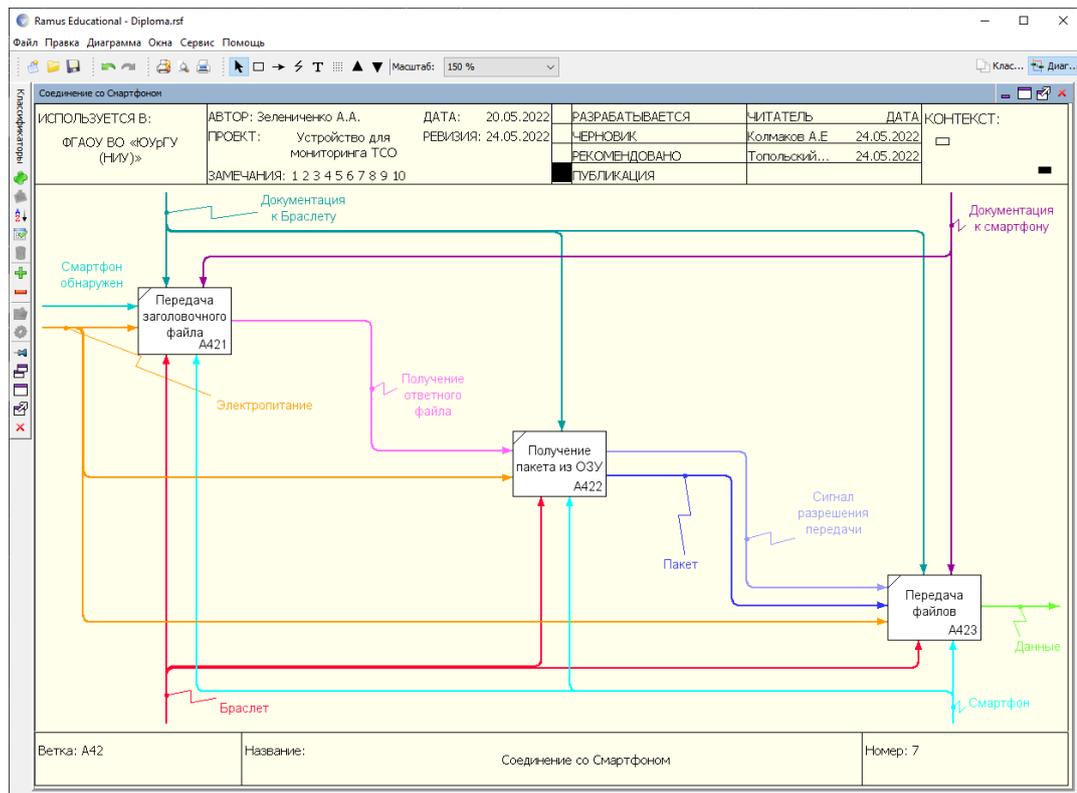


Рисунок 21 – Декомпозиция блока «Соединение со смартфоном»

### 3.3 Подбор комплектующих

Осуществим выбор комплектующих на основании синтезированной функциональной схемы устройства и предложенного технического задания:

В качестве микроконтроллера выступает Atmega 328P на отладочной плате Arduino Pro Mini 3.3V (рисунок 22), характеристики представлены в таблице Д.1, структурная схема на рисунке Д.1. Выбор обусловлен характеристиками отладочной платы:

- производительный микроконтроллер;
- наличие достаточного количества портов для решения задачи;
- высокая энергоэффективность;
- миниатюрные размеры платы;
- наличие достаточного объема SRAM для реализации проекта.

В совокупности представленные преимущества позволяют реализовать проект без использования более мощных микроконтроллеров и габаритных отладочных плат из серии Arduino.

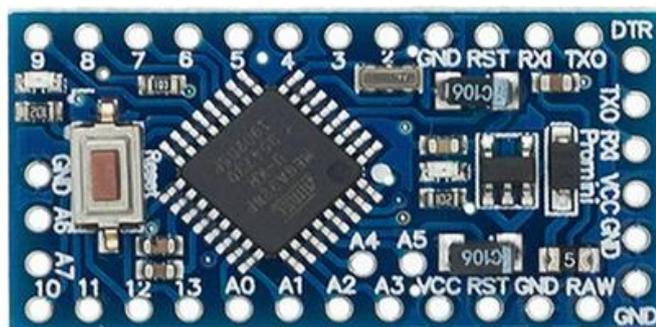


Рисунок 22 – Отладочная плата Arduino Pro Mini 3.3V

В качестве датчика будет использован интегральный сенсорный модуль МН-ЕТ LIVE MAX30102, позволяющий измерять ЧСС, сатурацию и температуру окружающего воздуха. Измерение осуществляется методом излучения пучков света из светодиодов в двух диапазонах (красного и ИК) и их приема при помощи фотоприемника со специальной схемой подавления шумов (рисунок 23). Характеристики устройства представлены в таблице Д.2, структурная схема – на рисунке Д.2. Выбор датчика обусловлен:

- дешевизной датчика;
- стабильной работой и высокой точностью измерения;
- наличием проработанных библиотек;
- функционированием по шине I<sup>2</sup>C, а не через аналоговый порт;
- возможностью работы с несколькими фиксируемыми показателями.

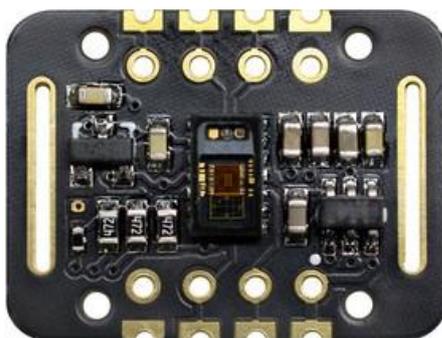


Рисунок 23 – Сенсорный модуль МН-ЕТ LIVE MAX30102

В качестве приемопередатчика в устройстве будет использоваться модуль АТ-09 (НМ-10) для Arduino на основе чипа CC2541, использующий технологию Bluetooth Low Energy 4.0 и метод AFH (Adaptive Frequency Hopping Feature) в диапазоне частот ISM (Industry, Science and Medicine), изображенного на рисунке 24. Характеристики устройства представлены в

таблице Д.3, структурная схема на рисунке Д.3. Выбор приемопередатчика обусловлен следующими характеристиками:

- функционально законченный модуль с технической документацией;
- возможность аппаратной настройки через USB–TTL–UART преобразователь (рисунок Д.10, таблица Д.10) с помощью AT-команд;
- простота использования модуля;
- высокая дальность связи.

В качестве недостатков можно выделить отсутствие настройки более чем двух профилей GATT Bluetooth и отсутствие стандартных библиотек.



Рисунок 24 – Модуль AT-09 (HM-10)

В качестве источника питания будет использоваться литий-полимерная аккумуляторная батарея Delta LP-602030 на основе технологии LiCoO<sub>2</sub> со встроенной электронной защитой от перезаряда и перегрева емкостью 300 мАч (рисунок 25). Характеристики устройства представлены в таблице Д.4, структурная схема на рисунке Д.4. Критерии выбора аккумулятора определялись соотношением цена/качество в местных магазинах радиотехники.



Рисунок 25 – Аккумулятор Delta LP-602030

Для контроля процесса заряда и разряда литий-полимерного аккумулятора необходимо использовать *специальную систему контроля батарей (СКБ)*, в нашем случае будет использоваться плата TP4056 5 В 1 А USB Type-C (рисунок 26). Характеристики устройства представлены в таблице Д.5, структурная схема на рисунке Д.5. Критерии выбора модуля:

- наличие защиты от перезаряда и переразряда;
- наличие интерфейса USB Type-C;
- малые габариты.

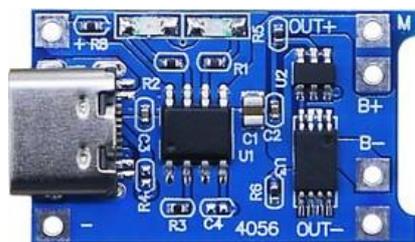


Рисунок 26 – СКБ TP4056

В качестве устройства контроля заряда аккумулятора выступает модуль тока и напряжения INA219 (СJMCU-219), изображенный на рисунке 27, характеристики устройства представлены в таблице Д.6, структурная схема на рисунке Д.6. Критерии выбора модуля:

- низкое энергопотребление (до 1 мА), высокий КПД (выше 90%);
- возможность реализации дополнительного функционала;
- функционирование по интерфейсу шины I<sup>2</sup>C.

К недостаткам можно отнести крупные габариты и высокую стоимость модуля по сравнению со схемой резистивного делителя.

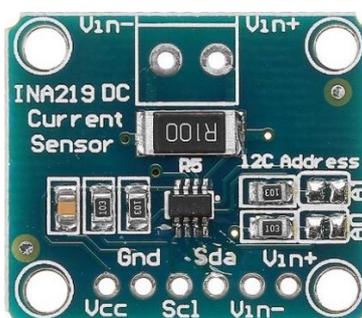


Рисунок 27 – Модуль тока и напряжения INA219

*В качестве кнопки* будет выступать модуль сенсорной кнопки емкостной ТТР223 (рисунок 28). Характеристики устройства представлены в таблице Д.7, структурная схема на рисунке Д.7. Модуль выбран по следующим критериям:

- удобство использования по сравнению с традиционной кнопкой;
- малое энергопотребление;
- возможность работы при напряжении менее 3В;
- небольшие габариты.

К недостаткам можно отнести высокую стоимость и возможность ложных срабатываний в сравнении с обычной механической кнопкой.



Рисунок 28 – Модуль сенсорной кнопки емкостной ТТР223

*Для тактильной индикации* превышения порогового значения будет использоваться бесщеточный вибромотор постоянного тока, изображенный на рисунке 29. Характеристики устройства представлены в таблице Д.8, структурная схема на рисунке Д.8. Критерии выбора вибромотора основаны на физических габаритах и параметре цена/качество.



Рисунок 29 – Вибромотор DC 3-5V 1020

*В качестве графического интерфейса* взаимодействия выступает OLED экран 0.91 дюйм, представленный на рисунке 30. Характеристики модуля отражены в таблице Д.9, структурная схема на рисунке Д.9. Внедрение графического интерфейса позволит пользователю напрямую узнавать текущее значение ЧСС и заряда аккумулятора. Критерии выбора модуля:

- малое энергопотребление, монохромный текст;
- небольшие габариты;

– возможность работы при напряжении менее 3В.



Рисунок 30 – OLED экран 0.91 дюйм

### 3.4 Расчет экономических затрат

Рассчитаем финансовые затраты на приобретаемые компоненты (с учетом доставки), отразив полученные расчеты в таблице 3, а также вычислим стоимость одного комплекта устройств, отразив расчеты в таблице 4 соответственно. В конечном расчете не учитывается стоимость разработки аппаратной и программной части, которая, в сумме, равна 20000 рублей.

Таблица 3 – Итоговая стоимость одного устройства

Компонент системы	Наименование	Стоимость, руб.
Устройство считывания	Датчик пульса MAX30102	84
Платформа	Arduino Pro Mini 3.3V	475
Приемопередатчик	AT-09 (на базе CC2541)	160
Элемент питания	Li-Pol 300 мАч	160
Система контроля батареи	TP4056 Type-C ( $U_{IN}$ 5В, $U_{OUT}$ 3.7В $I_{MAX}$ 1А)	41
Модуль контроля уровня текущего заряда	INA219	128
Сенсорный модуль	TTP223	8
Вибромотор	DC 3-5V 1020	30
Экран	OLED 0.91	100
Крепление	Ремешок	64
Монтажный провод	0.16 мм <sup>2</sup> 5 м	55
Услуги	3D печать	200
	Сборка, тестирование	300
<b>Конечная стоимость</b>		<b>1805</b>

Таблица 4 – Итоговая стоимость одного комплекта

Компонент	Цена, руб./ед.	Количество, ед.	Стоимость, руб.
Устройство	1805	20	36100
Смартфон RedMi 9A	7890	1	7890
<b>Стоимость 1 комплекта</b>			<b>43990</b>

### 3.5 Вывод о рентабельности реализации

В ходе проектирования предложенной системы была доказана экономическая целесообразность проекта, поскольку финансовые затраты на разработку и реализацию устройства будут в несколько раз меньше, чем приобретение аналогичного продукта с соответствующими функциональным и нефункциональным требованиям возможностями. Экономический эффект достигается исключением избыточных опций конкурирующих решений в разрабатываемом продукте, таких как сенсорный экран и GPS-модуль, что позволяет минимизировать затраты на производство и снизить стоимость конечного продукта. При этом проектируемый функционал устройства соответствует всем требованиям технического задания.

## **4 РЕАЛИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА**

### **4.1 Принципиальная схема устройства**

Спроектируем принципиальную схему разрабатываемого устройства, отраженную в приложении В.

Физическая схема разрабатываемого устройства на макетной плате, представленная на рисунке В.1, была реализована в программном обеспечении с открытым кодом для проектирования электронного оборудования Fritzing [36]. Принципиальная схема, разработанная в ПО Fritzing, представлена в виде рисунка В.2.

### **4.2 Реализация подсистем устройства**

*Принципиальная реализация подсистемы сбора данных* представлена на рисунке 31.

Опишем принцип работы датчика МАХ30102 [37].

Микросхема состоит из двух фотоизлучателей с различными спектрами излучения (красный – 660 нанометров, инфракрасный (ИК) – 940 нанометров). Физическая сущность метода пульсоксиметрии основана на способности гемоглобина, переносимого эритроцитами крови в двух возможных состояниях связанности, поглощать определенный процент энергии от излучаемого спектра. Зависимость поглощения энергетического потока для связанного гемоглобина (переносимого кислород) и несвязанного гемоглобина представлена на рисунке 32. Также процент поглощенной энергии зависит от концентрации гемоглобина и текущей фазы работы сердца, изменяющей ширину сосудов. Фотодетектор регистрирует энергетический поток, возникающий в результате отражения излучения с соответствующими потерями поглощения (рисунок 33), после чего происходит программная обработка данных.

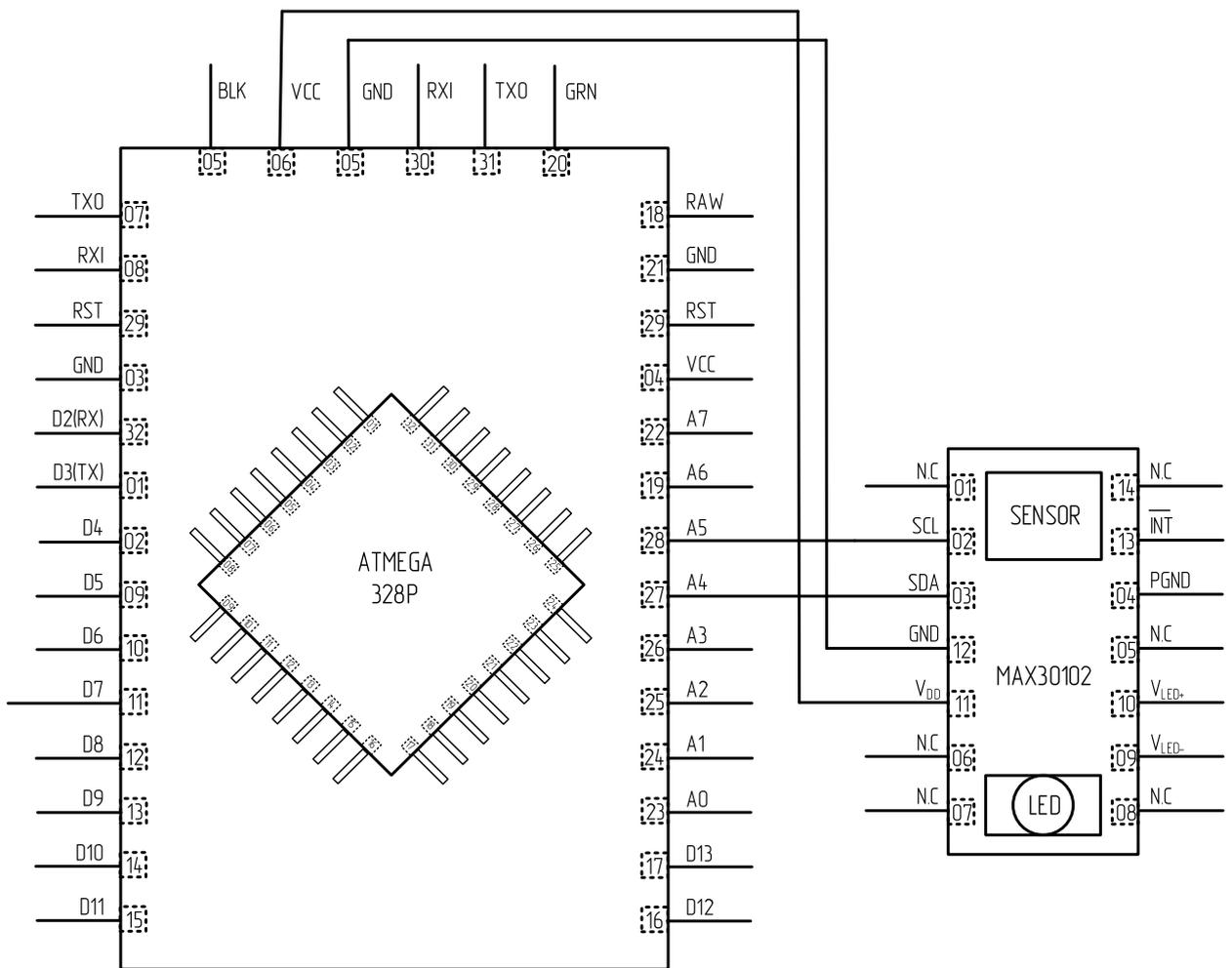


Рисунок 31 – Принципиальная схема соединения Arduino Pro Mini 3.3V и датчика MAX30102

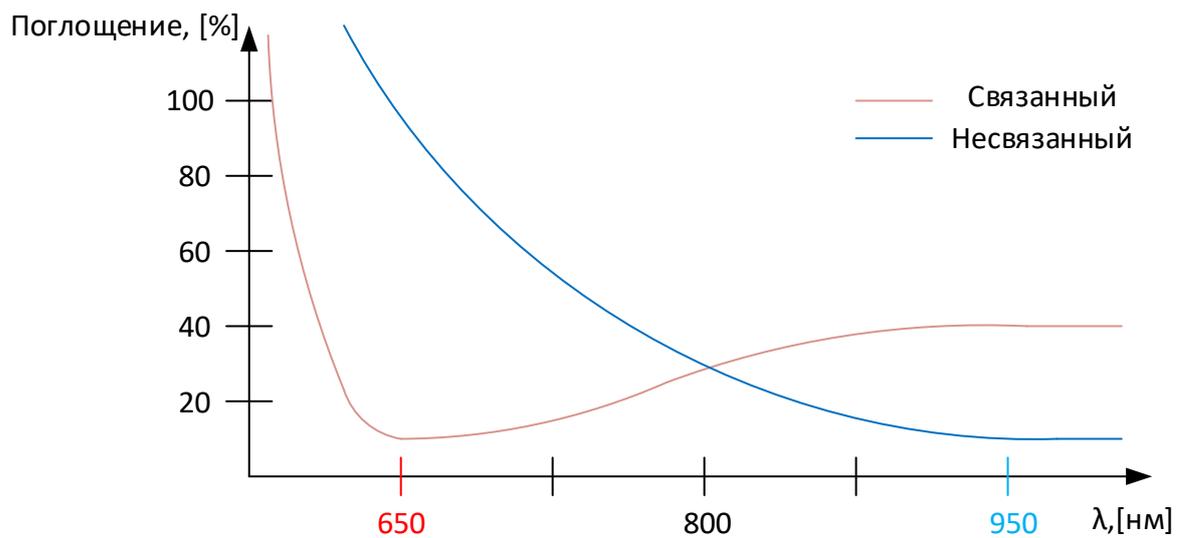


Рисунок 32 – Зависимость поглощения излучения гемоглобином от его связанности

Методика расчета основана на процентном соотношении поглощенных спектров излучений красного и ИК диапазона, а также длительности сеансов измерения, на основании которой компанией Maxim Integrated был разработан алгоритм, позволяющий получить значение ЧСС и сатурации [38].

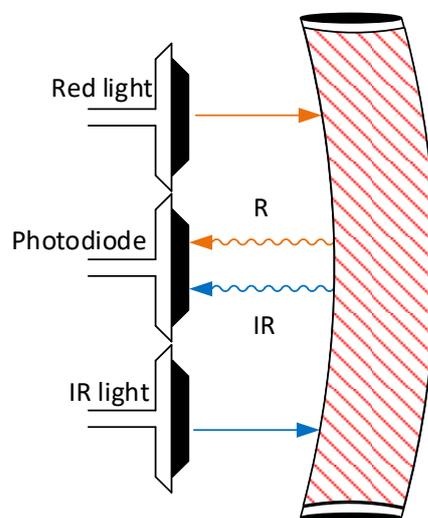


Рисунок 33 – Схема функционирования датчика МАХ30102

Датчик имеет функцию контроля дистанции до измеряемого объекта, базирующуюся на изменении расстояния при помощи инфракрасного излучения [38], позволяющего реализовать механизм проверки наличия кожного покрова на датчике и функцию энергосбережения.

Зависимость ЧСС от временных интервалов определена формулой (1).

$$ЧСС = \frac{60}{t_2 - t_1}, \quad (1)$$

где:  $t_1$  – начало временного интервала замера;

$t_2$  – конец временного интервала замера.

Функционирование датчика осуществляется по шине I<sup>2</sup>C, аппаратно реализованной на отладочной плате Arduino Pro Mini на 4 и 5 аналоговых выводах соответственно. Полученное значение передается в подсистему ПЗ. Для функционирования датчика была использована библиотека «МАХ3010х» от компании SparkFun [38], а именно модули «МАХ30105.h» для инициализации и считывания ЧСС и «heartRate.h» для определения наличия сердцебиения. Программная реализация представлена в приложении Б.

Перейдем к реализации *подсистемы сбора данных*.

Выбрав в качестве апробируемого параметра ЧСС, обратимся к теоретическим нормативным данным. Согласно теории адаптации, сердечно-сосудистая система – индикатор адаптивных возможностей, поэтому ее показатели рассматриваются как основные при оценке текущего состояния организма (ТОС) [39, с.34]. Основным функциональным критерием оценки ТОС в различных сценариях выполнения физической нагрузки является ЧСС. Практический опыт специалистов области спорта и спортивной медицины квалифицирует два типа определения ТОС по ЧСС [39, с.36]:

– в покое – выявление функциональных резервов, экономичности работы сердца, уровня тренированности, а также определение нормативного диапазона ЧСС для персоны;

– при выполнении физических упражнений различной мощности – тестирование физической работоспособности организма.

Также существует два подхода по определению ТОС по ЧСС [39, с.36]:

– ЧСС по мощности работы;

– мощность, необходимая для повышения ЧСС до заданного уровня.

Согласно техническому заданию, измерение ЧСС должно происходить во время всего занятия, следовательно, преподавателем будет задаваться определенная мощность работы и отслеживаться текущее значение ЧСС.

Нормативно корректным выявлением порогового и среднего значения ЧСС при нагрузке для индивидуума является проведение персональных тестов по методике PWC170 [39, с.45] или оценки резервных возможностей ССС [39, с. 38], поскольку физическое развитие, патологии и предшествующие нагрузки на организм не могут быть учтены. Однако, при невозможности проведения индивидуальных тестов могут быть использованы формулы (2) и (3) определения, предложенные министерством здравоохранения РФ [40].

$$ЧСС_{\max} = 220 - x, \quad (2)$$

$$ЧСС_{av} = 0.65...0.7 \cdot ЧСС_{\max}, \quad (3)$$

где:  $x$  – возраст, лет;

$ЧСС_{max}$  – максимальное значение ЧСС, уд./мин.;

$ЧСС_{av}$  – среднее значение ЧСС, уд./мин.

По значению максимальной ЧСС можно охарактеризовать пульсовые зоны спортсмена. В соответствии с теоретическим материалом общепринято выделять пять зон ЧСС в диапазоне 50...100% от максимального значения ЧСС (таблица 5). Тренировки в зонах 3–5 для среднестатистического обучающегося могут привести к серьезным последствиям в случае некорректного распределения нагрузки со стороны преподавателя.

Таблица 5 – Зоны ЧСС [41]

Зона	Характеристика	Значение
5	Максимальное потребление кислорода	90-100
4	Анаэробная	80-90
3	Аэробная	70-80
2	Сжигание жира	60-70
1	Легкая активность	50-60
	Покой	< 50

Следовательно, после получения значения максимального ЧСС пользователя, можно определить текущую зону ЧСС по очередному значению ЧСС, используя формулу (4).

$$Zone = \frac{ЧСС}{ЧСС_{max}} \cdot 100\% , \quad (4)$$

где: ЧСС – текущее значение ЧСС, уд./мин.

Механизм фильтрации ложных значений ЧСС осуществлен при помощи сохранения последних CURRENCY значений ЧСС в массиве BMPArray. Выбор значения CURRENCY прямо пропорционален времени установления текущего ЧСС пользователя – чем больше массив, тем дольше время установления. Опытным путем было установлено, что значение CURRENCY следует выбирать из интервала 3...7.

GATT профиль Heart Rate Profile [42] технологии Bluetooth Low Energy требует, чтобы данные кодировались в ASCII-кодах, следовательно,

необходимо осуществить преобразование полученного значения ЧСС, а также кода, определяющего положение датчика относительно кожного покрова в ASCII-код.

Программная реализация модуля представлена в приложении Б.

Принципиальная реализация *подсистемы отправки данных* представлена на рисунке 34.

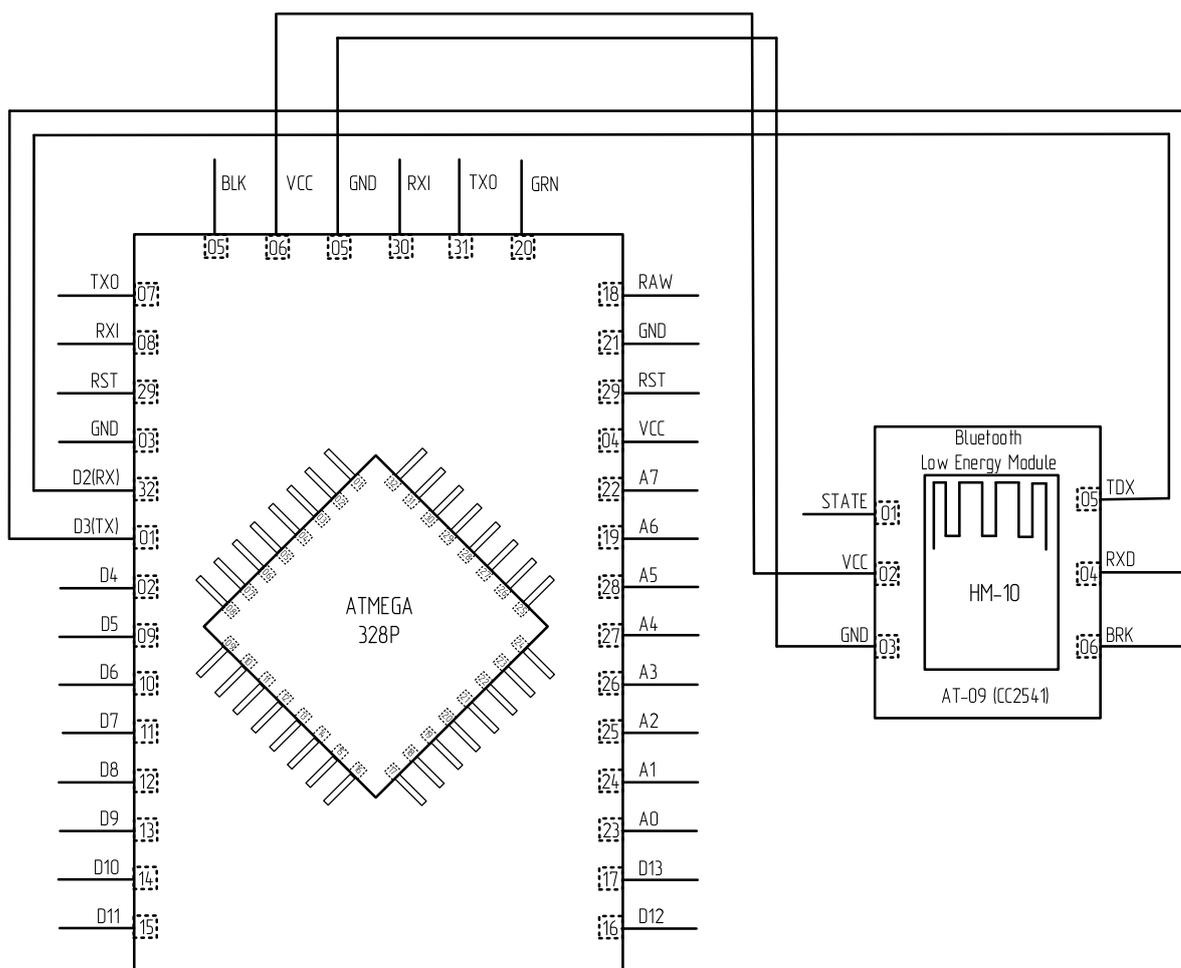


Рисунок 34 – Принципиальная схема соединения Arduino и модуля HM-10

В простейшем случае возможна организация вывода данных через последовательный порт при помощи библиотеки «Software.Serial» на скорости прошивки не менее 9600 бод. Однако для того, чтобы устройство могло взаимодействовать с другими приложениями, использующими BLE, было принято решение использовать Bluetooth Heart Rate Profile [42].

Структура профиля GATT в общем виде представлена на рисунке 35.

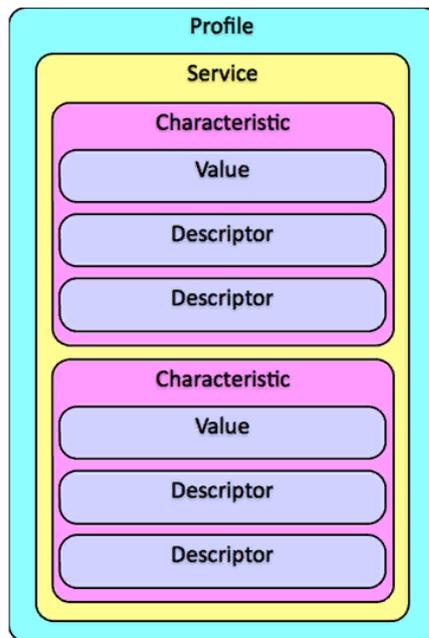


Рисунок 35 – Структура профиля GATT в общем виде

Структура сервиса сердечного ритма (0x180D) профиля Heart Rate Profile [34] состоит из трех характеристик:

- обязательная характеристика ЧСС (0x2A37);
- опциональная характеристика положения датчика тела (0x2A38);
- условная характеристика контрольной точки сердечного ритма (0x2A39).

Также, для корректного функционирования программы, необходимо передавать текущий уровень заряда аккумулятора с помощью сервиса обслуживания батареи (0x180F) с обязательной характеристикой уровня заряда батареи (0x2A19).

Поскольку модули типа НМ и НС не поддерживают добавление новых UUID [44] программно, то реализация сервиса обслуживания батареи (0x180F), а также характеристик 0x2A38 и 0x2A39 не представляется возможной.

Для настройки модуля НМ-10 на аппаратном уровне необходимо перейти в режим АТ команд и изменить следующие параметры [34]:

- user UUID – 0x180D;
- user Characteristic – 0x2A37.

Реализуем подсистемы на макетной плате, для удобства отладки заменив Arduino Pro Mini на Arduino Uno (рисунок 36).

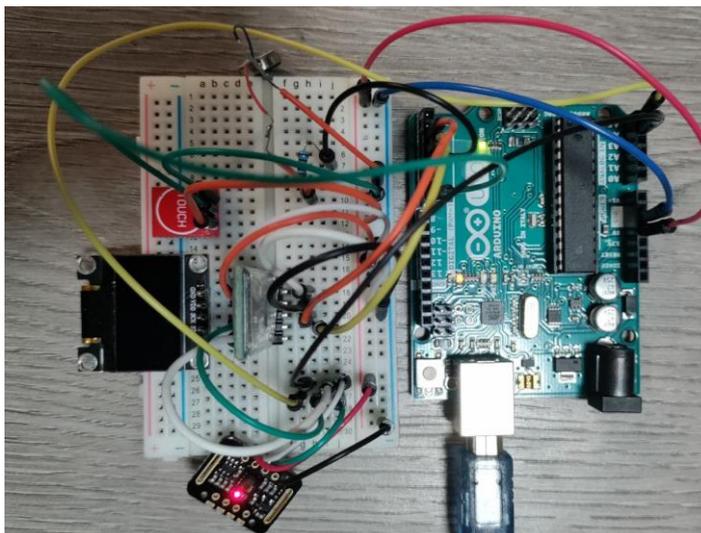


Рисунок 36 – Сборка подсистем П2-П4

Выполним проверку корректности перехода потока данных от подсистемы П2-П4 с помощью приложения nRFConnect (рисунок 37).

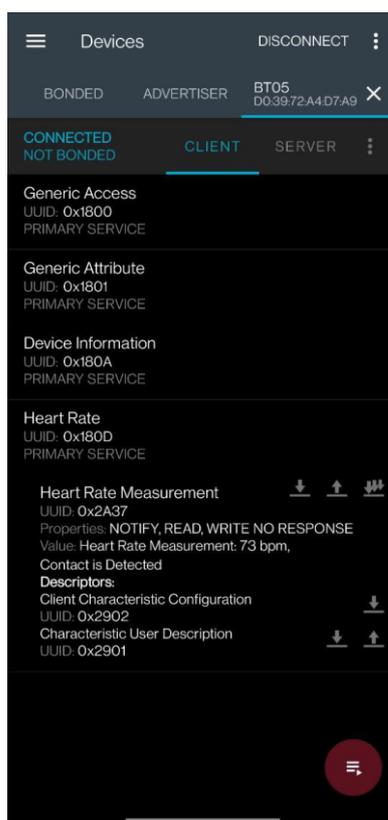


Рисунок 37 – Проверка корректности получения текущего значения ЧСС

Алгоритм подключения к серверу представлен в виде блок-схемы, отраженной на рисунке 38.

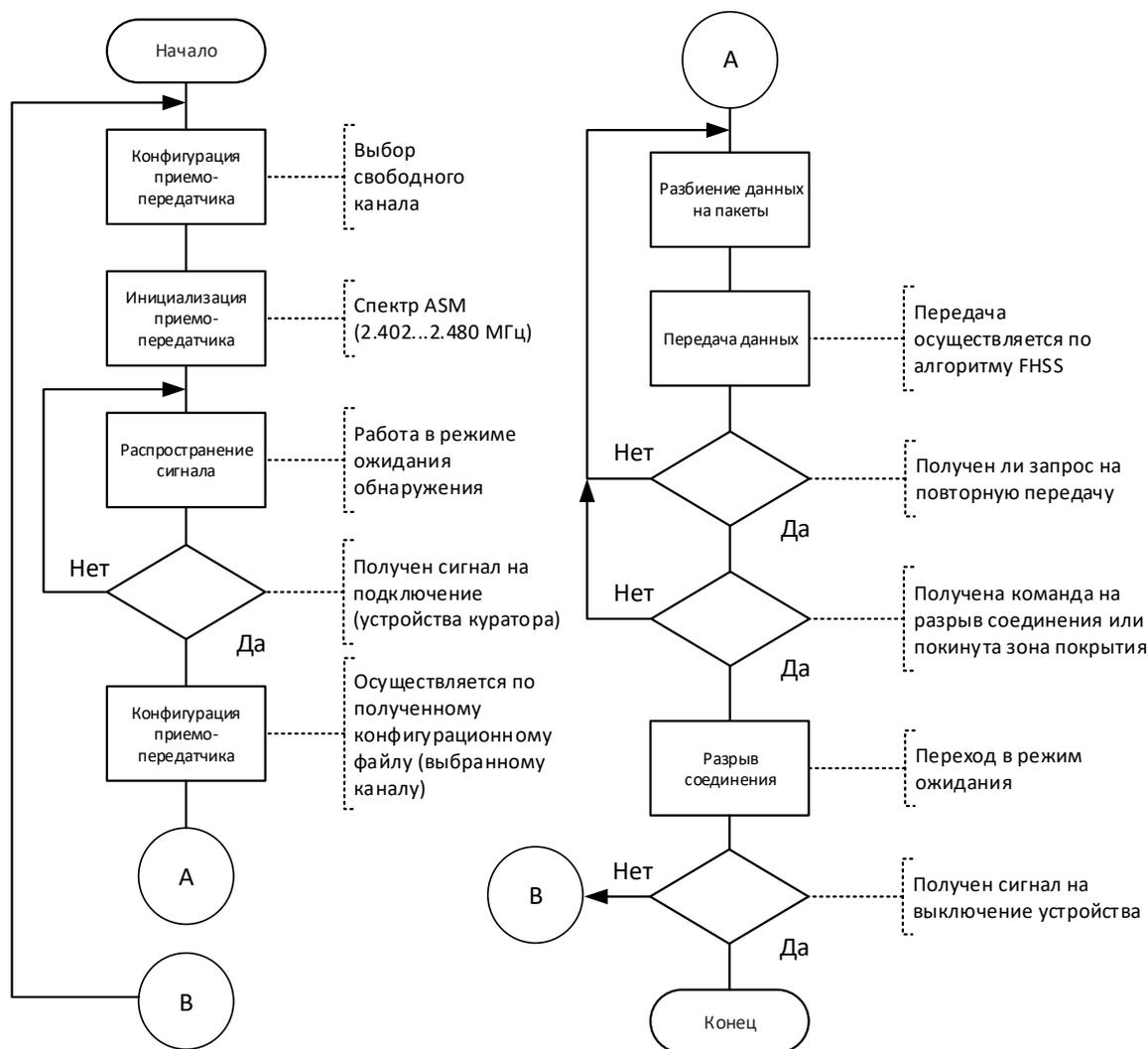


Рисунок 38 – Алгоритм подключения к серверу

Принципиальная реализация подсистемы электропитания представлена на рисунке 39.

В технической документации к АКБ [45] отражено, что максимальный ток заряда АКБ должен быть не более  $0.5C$ , где  $C$  – емкость аккумулятора. Поскольку текущий ток заряда равен  $1\text{ А}$ , то нам необходимо заменить резистор  $R_3$  на плате на резистор с номиналом  $4\text{ кОм}$  (таблица 6). При наличии у АКБ терморезистора к модулю TP4056 подпаивается соответствующий выход с данного компонента.

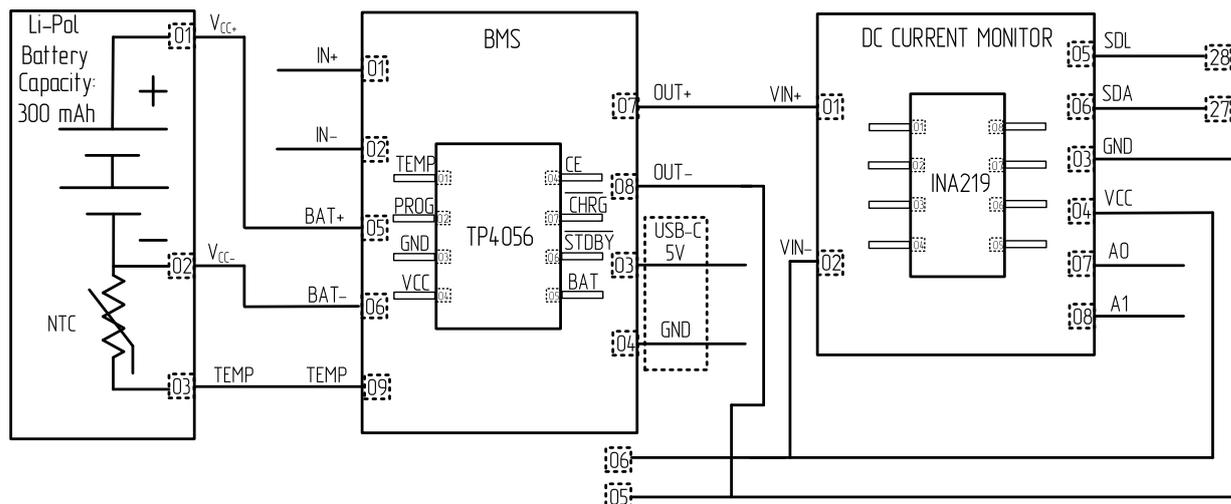


Рисунок 39 – Принципиальная схема соединения подсистемы электропитания

Таблица 6 – Подбор токоограничивающего резистора [45]

Сопротивление резистора, кОм	Ток зарядки АКБ, мА
10	130
5	250
4	300
3	400
2	580
1.66	690
1.5	780
1.33	900
1.2	1000

Алгоритм работы датчика тока и напряжения INA219 по выявлению уровня текущего заряда аккумуляторной батареи организован следующим образом. При помощи библиотеки «INA219\_WE» [46] измеряются падение напряжение на шунте  $V_{шунт}$  и напряжение потребителя  $V_{шина}$  (рисунок 40). В результате их сложения можно получить напряжение нагрузки (текущий уровень напряжения системы).

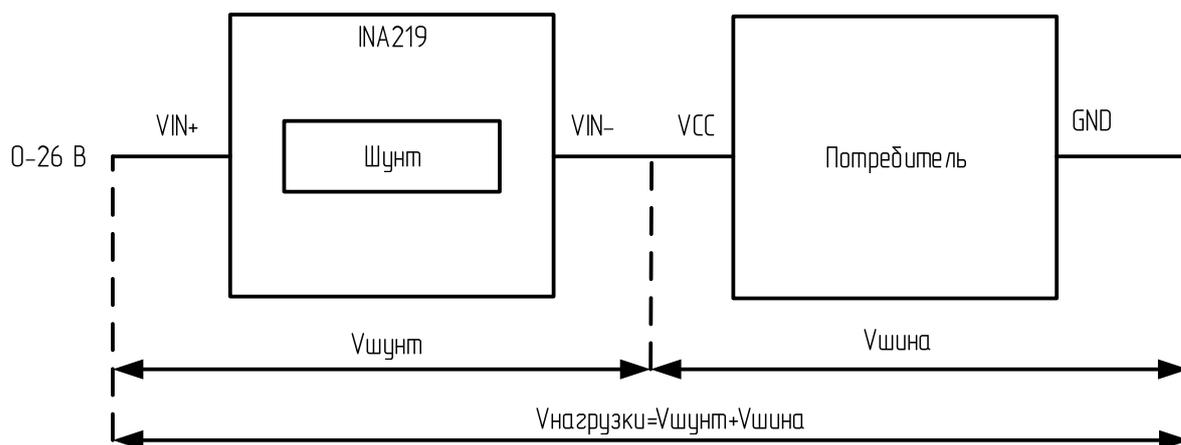


Рисунок 40 – Схема получения напряжения нагрузки

С помощью формулы (5) можно получить текущий уровень заряда АКБ в процентном соотношении.

$$Bat = \frac{V_{max} - V_{нагрузка}}{V_{max} - V_{min}} \cdot 100\% , \quad (5)$$

где:  $V_{нагрузка}$  – напряжение нагрузки, В;

$V_{max}$  – максимальное напряжение питания, В;

$V_{min}$  – минимальное напряжение питания, В.

В случае, если с системы П2 приходит сигнал о том, что участок поверхности кожи пользователя не обнаружен в течении двух минут, система переходим в режим ожидания.

Физическая реализация системы на макетной плате представлена на рисунке 41.

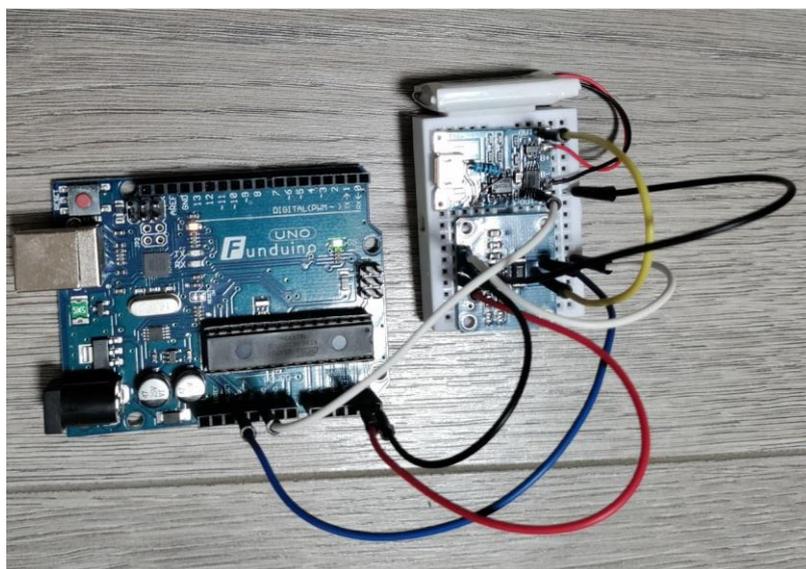


Рисунок 41 – Физическая реализация подсистемы электропитания

Принципиальная реализация подсистемы взаимодействия с пользователем представлена на рисунке 42.

Для работы OLED экрана была выбрана одна из самых «легких» графических библиотек «GyverOLED» [47]. С целью экономии энергии системы было реализовано включение экрана на несколько секунд по нажатию сенсорной кнопки. Для индикации процесса функционирования устройства была реализована динамическая индикация биения сердца. При достижении критического уровня ЧСС независимо от состояния экрана включается вибрационный мотор на несколько секунд. Для корректировки уровня вибрации вибромотора был добавлен резистор на 220 Ом. Исходный код организации логики взаимодействия компонентов приведен в приложении Б.

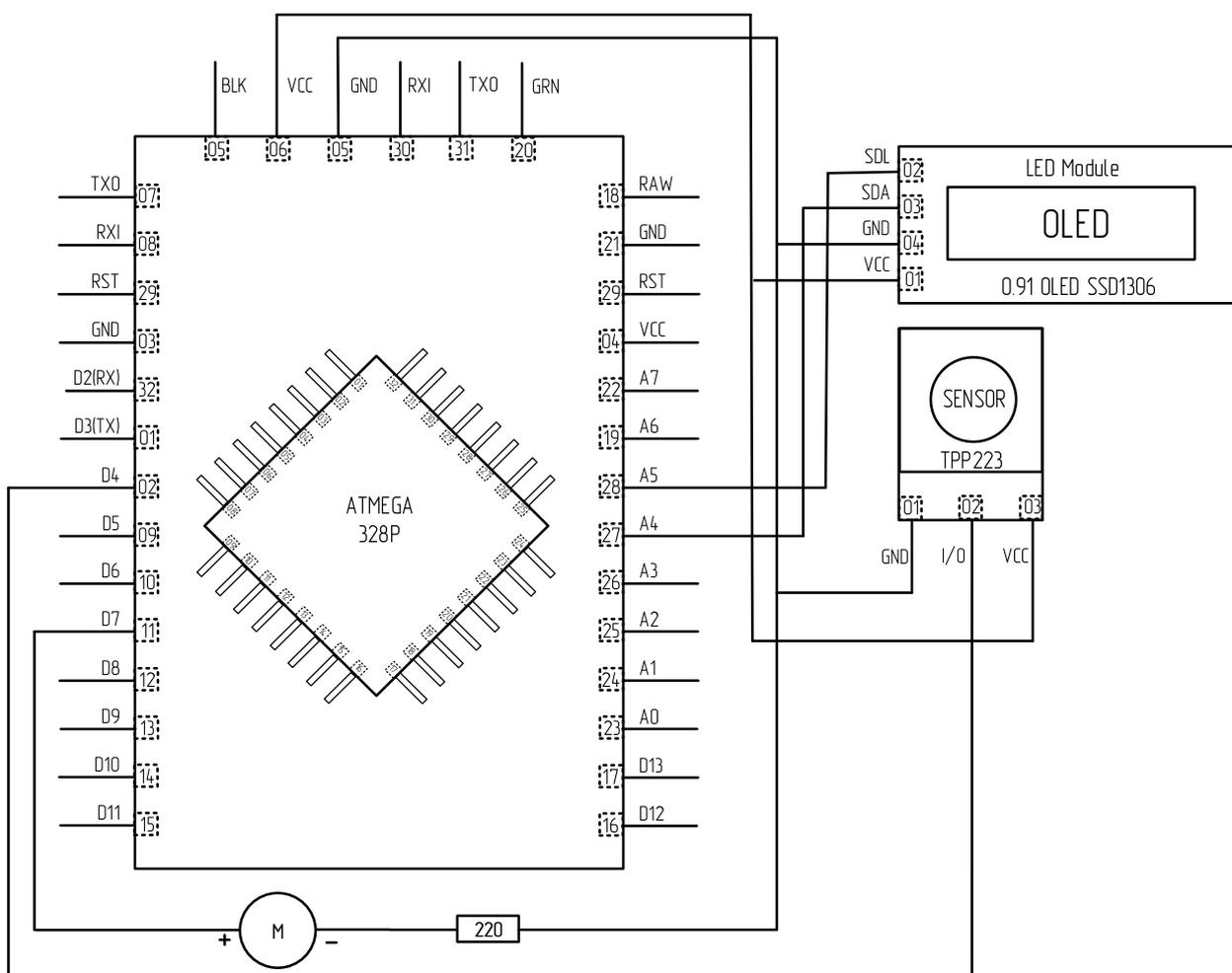


Рисунок 42 – Принципиальная схема соединения Arduino Pro Mini и элементов подсистемы интерфейса взаимодействия с пользователем

Физическая реализация подсистемы представлена на рисунке 43.

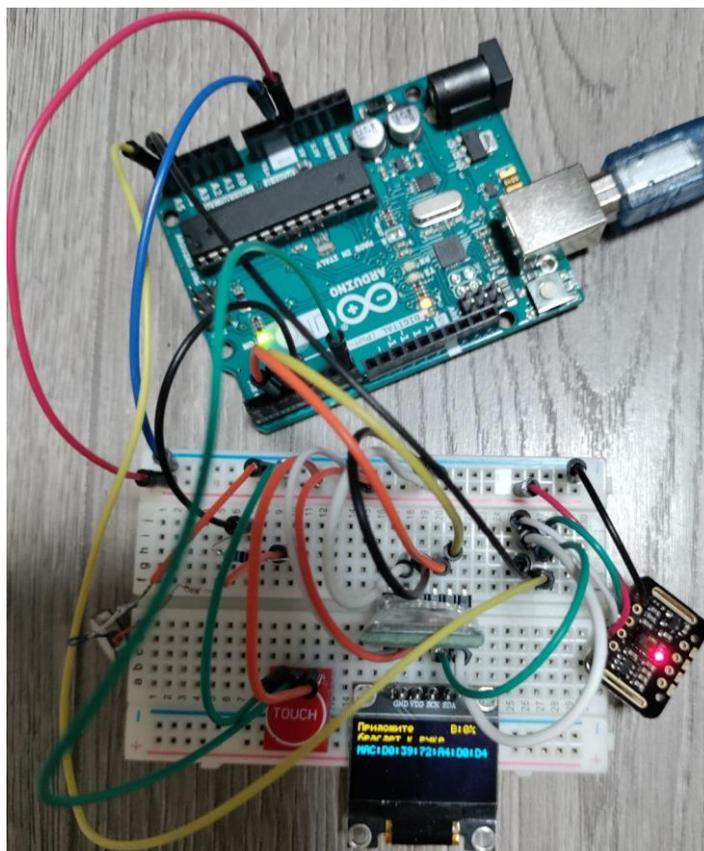


Рисунок 43 – Физическая реализация подсистемы взаимодействия с пользователем

### 4.3 Разработка корпуса

Для полноценного функционирования системы был спроектирован корпус в Autodesk Inventor по студенческой лицензии, результаты проектирования представлены на рисунках 44 и 45.

Печать корпуса осуществлялась пластиком ABS, отличительными свойствами которого являются отличные механические характеристики и большой срок жизни.

Ремешок устройства выполнен из двухслойной тканевой ленты размером 100x10 мм.

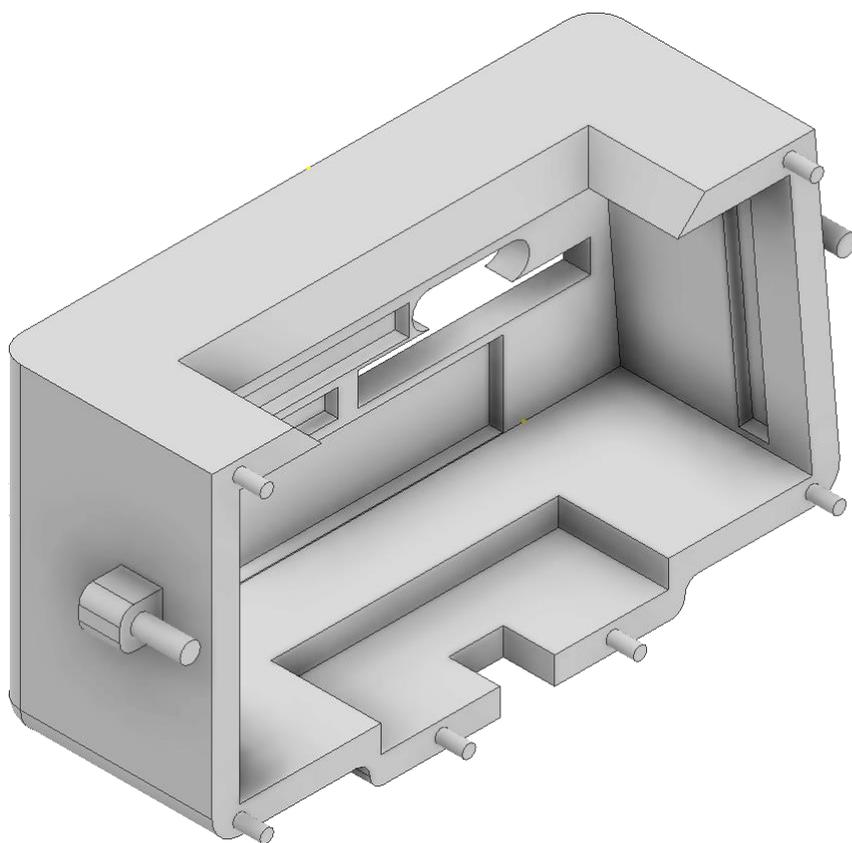


Рисунок 44 – Проектирование устройства в Autodesk Inventor (вид сбоку, левая деталь)

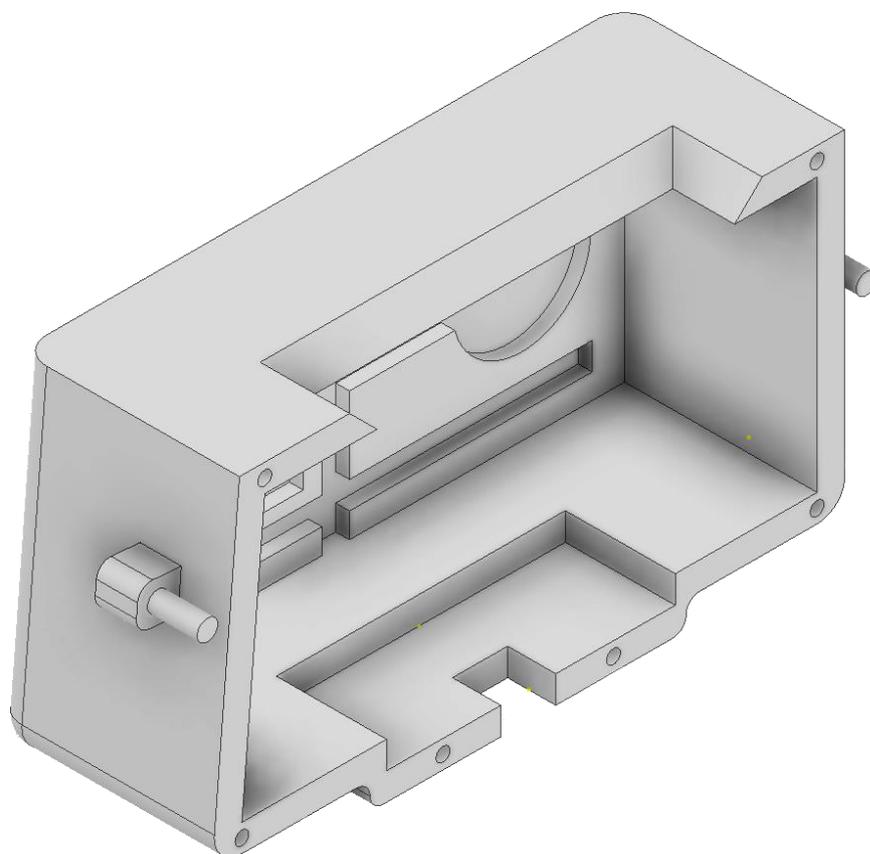


Рисунок 45 – Проектирование устройства в Autodesk Inventor (вид сбоку, правая деталь)

## 5 ТЕСТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

В данной главе будут проведено тестирование согласно обозначенным ранее требованиям:

- тестирование функциональных требований;
- тестирование количественных требований.

### 5.1 Тестирование функциональных требований

В данном подразделе приведен процесс тестирования датчиков и модулей, в результате которого будет сделан вывод о качестве синтезированного устройства и погрешности, возникающей в ходе его работы.

Для тестирования датчиков и модулей синтезированного устройства выполним измерение ЧСС на разработанном устройстве (рисунок 46).



Рисунок 46 – Измерение ЧСС на разработанном устройстве

Для проверки качества синтезированного устройства и погрешности, возникающей в ходе его работы, выполним измерение ЧСС одновременно на разработанном устройстве и устройстве-аналоге Mi Band 6 (рисунок 47).

В результате проведения тестирования датчиков и модулей можно сделать вывод о том, что синтезированное устройство работает корректно и имеет погрешность в пределах  $\pm 5\%$ .



Рисунок 47 – Одновременное измерение ЧСС на двух устройствах

## 5.2 Тестирование количественных требований

Для выявления значения *максимального расстояния* произведем удаление устройства от смартфона координатора на расстояние, при котором будет потеряно соединение, то есть система приложения покажет отсутствие данных о батарее и сети, а также значение ЧСС равное нулю (рисунки 48-49).



Рисунок 48 – Максимальное расстояние функционирования

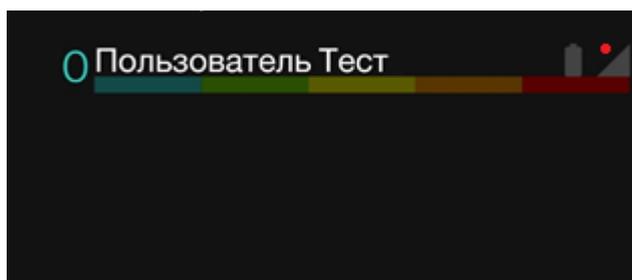


Рисунок 49 – Просмотр данных о ЧСС в системе приложения

В результате проведения тестирования на максимальное расстояние между устройством и смартфоном координатора было получено значение расстояния равное 53 метрам, при котором было потеряно соединение с устройством координатора.

В результате проведения тестирования аккумуляторной батареи были получены значения времени непрерывной работы устройства без подзарядки в режиме ожидания и активном режиме. В режиме ожидания время непрерывной работы составило 120 часов (5 суток), в активном режиме – 6 часов.

В результате проведения теста на вес было получено значение, равное 37 г (рисунок 50).



Рисунок 50 – Вес устройства

В результате проведения линейных замеров были получены значения, определенные чертежами правой и левой детали с максимальной погрешностью в 0.3 мм, а именно: 46x32x22 мм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены следующие задачи:

- проведен обзор современных аппаратных возможностей организации портативного мобильного устройства мониторинга состояния организма, сформированы критерии проектирования устройства на основе проведенного обзора;

- определены основные требования к устройству;

- спроектирована функциональная структура устройства, осуществлён подбор комплектующих и рассчитана экономическая целесообразность реализации аппаратного комплекса;

- реализовано устройство для мониторинга состояния организма во время проведения занятий по физкультуре;

- произведена оценка работоспособности, осуществлена проверка соответствия количественным и функциональным требованиям реализованного устройства.

В ходе дальнейшей разработки может быть реализован следующий функционал:

- использование аппаратной платформы ESP32, поддерживающий несколько профилей Bluetooth;

- исполнение системы на одной плате;

- добавление GPS-модуля;

- добавление Flash-памяти и организация БД для хранения тренировок и значений ЧСС;

- внедрение крепления и разработка силиконового ремешка.

Результатами выполнения выпускной квалификационной работы является устройство для мониторинга состояния обучающихся во время проведения занятий по физической культуре со следующими параметрами:

- вес готового устройства составляет 37 г;

- физические габариты устройства: 46x32x22 мм;
- время автономной работы устройства в режиме ожидания составляет 120 часов, в активном режиме – 6 часов;
- максимальное расстояние бесперебойного подключения устройства к смартфону куратора составляет 53 метра.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Согласно новому исследованию ВОЗ, большинство подростков в мире ведут малоподвижный образ жизни, что ставит под угрозу их сегодняшнее и будущее здоровье. – Текст : электронный // Всемирная организация здравоохранения : [официальный сайт]. – 2019. – URL: <https://www.who.int/ru/news/item/22-11-2019-new-who-led-study-says-majority-of-adolescents-worldwide-are-not-sufficiently-physically-active-putting-their-current-and-future-health-at-risk> (дата обращения: 10.02.2022).

2. Дорошенко, В. В. Дистанционное обучение и физическая активность людей во время пандемии (COVID-19) / В. В. Дорошенко, В. Н. Еременко, О. В. Синько // Филологические и социокультурные вопросы науки и образования : сборник материалов VI Международной научно-практической очно-заочной конференции / КубГТУ. – Краснодар : КубГТУ, 2021. – С. 624-628.

3. 211 погибших на уроках физкультуры школьников: почему так много – Текст : электронный // Газета «Московский Комсомолец» : [электронное периодическое издание]. – URL: <https://www.mk.ru/social/2017/10/09/211-pogibshikh-na-urokakh-fizkultury-shkolnikov-pochemu-tak-mnogo.html> (дата обращения: 10.02.2022).

4. Кононова, И. Е. Пагубное влияние сидячего образа жизни в современном мире / И. Е. Кононова, А. С. Наконечная // XI Международный молодежный форум "Образование. Наука. Производство" / БГТУ. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2019. – С. 2709-2715.

5. Коляденко, С. А. Взаимосвязь активного и пассивного отдыха и здоровья студентов / С. А. Коляденко // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2017. – № 4-3(24). – С. 71-74.

6. Амбарцумян, Р. А. Малоподвижный (сидячий) образ жизни студентов / Р. А. Амбарцумян, А. К. Соболева // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2020. – Т. 10. – № 4. – С. 86-90.

7. Мнухина, О. Н. Готовность студентов к сдаче норм Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса "Готов к труду и обороне" / О. Н. Мнухина, О. Д. Михайлова, В. И. Пентюхин, Г. Г. Щеглов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2019. – № 11(177). – С. 294-298.

8. Рекомендации ВОЗ по вопросам физической активности и малоподвижного образа жизни: краткий обзор [WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour: at a glance] : [методические указания] // Всемирная организация здравоохранения. – Женева : Всемирная организация здравоохранения. – 2020. – 24 с.

9. Горячева, Т. В. Основные аспекты физической реабилитации пациентов после перенесённой пневмонии, ассоциированной новой коронавирусной инфекцией / Т. В. Горячева, И. В. Барашвили // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 4-4(72). – С. 107-113.

10. Яцкова, Л. А. Методы ЛФК для реабилитации во время пандемии Covid-19 / Л. А. Яцкова, А. С. Шелестов, А. М. Мендаева // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. – 2021. – № 2-1.

11. Явдошенко, Е. О. Профилактика травматизма и отрицательных реакций организма при занятиях физической культурой и спортом / Е. О. Явдошенко // Теория и методика физического воспитания, спортивной тренировки, оздоровительной и адаптивной физической культуры : Межвузовский сборник научно-методических работ / СПбПУ. – Санкт-Петербург : ФГАОУ ВО СПбПУ, 2021. – С. 324-327.

12. Более двухсот российских школьников погибли на уроках физкультуры за год. – Текст : электронный // МИА «Россия сегодня» : [электронное периодическое издание]. – URL: <https://ria.ru/20171009/1506476825.html> (дата обращения: 10.02.2022).

13. За 5 лет на Южном Урале на уроках умерли четыре школьника. Почему в России не спасают детей, как в США // «74.ру» : [сетевое издание]. – URL: <https://74.ru/text/health/2022/01/29/70406972/> (дата обращения: 10.02.2022).

14. Бардамов, Г. Б. Физическая культура и спорт : учебник / Г. Б. Бардамов, К. В. Балдаев. – Улан-Удэ : Бурятская ГСХА им. В. Р. Филиппова, 2020. – 405 с.

15. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 16.04.2022) "Об образовании в Российской Федерации". Статья 51. Правовой статус руководителя образовательной организации : [федеральный закон] // КонсультантПлюс : компьютерная справочная правовая система. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_140174/a9a42a97d3c0b5eced65b7614ca638ff72376425/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/a9a42a97d3c0b5eced65b7614ca638ff72376425/) (дата обращения: 23.05.2022).

16. Wearables Deliver Double-Digit Growth for Both Q4 and the Full Year 2021 // IDC : International Data Corporation : [сайт]. – URL: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS48935722> (дата обращения: 23.05.2022).

17. Jie, T. Analysis of wearable technology and products / T. Jie, Sh. Qi. Mei // Проблемы механики современных машин: материалы VII Междунар. науч. конф. : материалы конференции. – Улан-Удэ : ВСГИК, 2018. – Том 2. – 2018. – 370 с.

18. The Wearable Life 2.0 : Connected living in a wearable world : [исследование] // PwC: Audit and assurance, consulting and tax services : [сайт]. – URL: <https://www.pwc.com/ee/et/publications/pub/pwc-cis-wearables.pdf> (дата обращения: 23.05.2022).

19. Датчик ЧСС Polar H10. – Текст : электронный // Polar : [сайт]. – URL: <https://www.polar.com/ru/products/accessories/h10> (дата обращения: 23.05.2022).

20. Оптический датчик ЧСС Polar Verity Sense. – Текст : электронный // Polar : [сайт]. – URL: <https://www.polar.com/ru/products/accessories/polar-verity-sense> (дата обращения: 23.05.2022).

21. Фитнес-трекер с мониторингом сердечного ритма Polar A370. – Текст : электронный // Polar : [сайт]. – URL: <https://www.polar.com/ru/products/sport/a370-fitness-tracker> (дата обращения: 23.05.2022).

22. MZ-Switch Heart Rate Monitor. – Текст : электронный // Myzone Group : [сайт]. – URL: <https://buy.myzone.org/product/?code=MZ-Switch> (дата обращения: 23.05.2022).

23. MZ-3 Heart Rate Monitor. – Текст : электронный // Myzone Group : [сайт]. – URL: <https://buy.myzone.org/product/?code=BLE-Belt> (дата обращения: 23.05.2022).

24. Mi Smart Band 6. – Текст : электронный // Mobile Internet : [сайт] / Xiaomi. – URL: <https://www.mi.com/ru/mi-smart-band-6/> (дата обращения: 23.05.2022).

25. Apple Watch Series 7. – Текст : электронный // Apple Inc. : [сайт]. – URL: <https://www.apple.com/ru/watch/> (дата обращения: 23.05.2022).

26. Forerunner 55. – Текст : электронный // Garmin International : [сайт]. – URL: <https://www.garmin.ru/watches/catalog/forerunner/forerunner55-monterra-gray/> (дата обращения: 23.05.2022).

27. Монитор сердечного ритма (пульсометр) HRM-DUAL. – Текст : электронный // Garmin International : [сайт]. – URL: <https://www.garmin.ru/remeshki/catalog/pulsometry/dual/> (дата обращения: 23.05.2022).

28. Я врач неотложной помощи, и я хочу поговорить о новой электрокардиограмме Apple Watch. – Текст : электронный // Habr: ресурс для IT-специалистов : [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/post/423489/> (дата обращения: 23.05.2022).

29. Отслеживание пульса с помощью Apple Watch. – Текст : электронный // Apple Inc. : [сайт]. – URL: <https://support.apple.com/ru-ru/HT204666> (дата обращения: 23.05.2022).

30. Почему для спорта нужны именно Polar. – Текст : электронный // Habr: ресурс для IT-специалистов : [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/post/379607/> (дата обращения: 23.05.2022).

31. Bluetooth. – Текст : электронный // Bluetooth SIG, Inc. : [сайт]. – URL: <https://www.bluetooth.com/> (дата обращения: 23.05.2022).

32. ANT+ Shifting profile. – Текст : электронный // Garmin Canada Inc. : [сайт]. – URL: <https://www.thisisant.com/> (дата обращения: 23.05.2022).

33. ANT+. – Текст : электронный // Habr: ресурс для IT-специалистов : [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/company/yotadevices/blog/250117/> (дата обращения: 23.05.2022).

34. BLE под микроскопом. – Текст : электронный // Habr: ресурс для IT-специалистов : [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/post/505078/> (дата обращения: 23.05.2022).

35. Arduino. – Текст : электронный // Arduino : [сайт]. – URL: <https://www.arduino.cc/en/> (дата обращения: 23.05.2022).

36. Fritzing – electronics made easy: [сайт] // Interaction Design Lab Potsdam. – URL: <https://fritzing.org/> (дата обращения 23.05.2022).

37. High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health : [документация] // Maxim Integrated : [сайт]. – URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf> (дата обращения: 23.05.2022).

38. SparkFun\_MAX3010x\_Sensor\_Library. – Текст : электронный // GitHub: веб-сервис для хостинга IT-проектов : [сайт]. – URL: [https://github.com/sparkfun/SparkFun\\_MAX3010x\\_Sensor\\_Library](https://github.com/sparkfun/SparkFun_MAX3010x_Sensor_Library) (дата обращения: 23.05.2022).

39. Пономарева И. А. Физиология физической культуры и спорта : учебное пособие / И. А. Пономарева. – Ростов-на-Дону : изд-во ЮФУ, 2019. – 212 с.

40. "Организация проведения профилактического медицинского осмотра и диспансеризации определенных групп взрослого населения. Методические рекомендации" : [Федеральный закон] // КонсультантПлюс : компьютерная справочная правовая система. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_338060/0ea13598904aese0c94ff8c8ec84e39deb63e2c/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_338060/0ea13598904aese0c94ff8c8ec84e39deb63e2c/) (дата обращения: 23.05.2022).

41. Что такое зоны ЧСС? – Текст : электронный // Polar : [сайт]. – URL: <https://www.polar.com/ru/smart-coaching/what-are-heart-rate-zones> (дата обращения: 23.05.2022).

42. Bluetooth Heart Rate Profile 1.0. – Текст : электронный // Bluetooth SIG, Inc. : [сайт]. – URL: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/heart-rate-profile-1-0/> (дата обращения: 23.05.2022).

43. Bluetooth 4.0 BLE module : [документация] // JN Huamao Technology Co., Ltd. : [сайт]. – Режим доступа: URL: <http://www.jnhuamao.cn/bluetooth.asp> (дата обращения: 23.05.2022).

44. Модули HM-10 Bluetooth 4 BLE. – Текст : электронный // Microsin.net : [сайт]. – URL: <http://microsin.net/programming/avr/hm-10-bluetooth-4-ble-modules.html> (дата обращения: 23.05.2022).

45. TP4056 – контроллер зарядки Li-ion аккумуляторов. – Текст : электронный // rcl-radio.ru : [сайт]. – URL: <http://rcl-radio.ru/?p=31599> (дата обращения: 23.05.2022).

46. INA219\_WE. – Текст : электронный // GitHub: веб-сервис для хостинга IT-проектов : [сайт]. – URL: [https://github.com/wollewald/INA219\\_WE](https://github.com/wollewald/INA219_WE) (дата обращения: 23.05.2022).

47. GyverOLED. – Текст : электронный // GitHub: веб-сервис для хостинга IT-проектов : [сайт]. – URL: <https://github.com/GyverLibs/GyverOLED> (дата обращения: 23.05.2022).

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**Сводная таблица аналогов**

Таблица А.1 – Сводная таблица характеристик существующих аналогов

Критерий	Polar H10	Polar Verity Sense	Polar A370	MZ-Switch	MZ-3	Mi-Band 6	Apple Watch	Garmin ForeRunner 55	Garmin HRM-DUAL
	<b>Технологические</b>								
Возможность работы со сторонним ПО	Да	Да	Да	Да	Да	Нет	Нет	Да	Да
Технологии передачи данных	ANT+, 2 BLE, 5 kHz	ANT+, 2 BLE	ANT+, 2 BLE	ANT+, 2 BLE	ANT+, 2 BLE, 5 kHz	BLE	BLE	ANT+, BLE	ANT+, BLE
Наличие GPS	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Да	Нет
<b>Технические</b>									
Форм-фактор	Н	П, Б	Б	Н, П, Б	Н	Б	Б	Б	Н
Длина, мм.	34	30	23.5	55	42	47.4	41	42	62
Ширина, мм.	65		27	68	70	18.6	35	42	34
Высота, мм.	10	9.6	13.5	151	163	12.7	10.7	11.6	11
Вес, г.	21.0	20.0	31.7	200	200	12.8	32.0	37.0	54.4
Автономное время работы	до 17 дней	до 25 дней	до 4 дней	до 0.5 года	до 1 года	до 5 дней	до 2 дней	до 14 дней	до 3.5 лет

Продолжение таблицы А.1

Источник питания	CR 2025	CR 2025	100 мАч	-	-	125 мАч	304 мАч	300 мАч	CR 2032
Стандарт защиты	WR30	WR50	WR30	Нет	Нет	IP68	IP6X	WR50	Нет
Запоминание тренировки	Да	Да	Нет	Да	Да	Нет	Нет	Да	Да
Интерфейс взаимодействия	Звук	Звук	Экран	Звук	Звук	Экран	Экран	Экран	Звук
Экономические									
Стоимость, руб./ед.	13000	12000	15490	16000	11000	4000	42000	29000	9000
Бесплатное ПО для групповых занятий	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	-	-	-	-
Медицинские									
Тип считаваемого параметра	ЭКГ	ЧСС	ЧСС	ЧСС, ЭКГ	ЧСС	ЧСС	ЧСС, ЭКГ	ЧСС	ЧСС
SpO2	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Да	Нет	Нет
Общие									
Категория	Проф. Груп.	Проф. Груп.	Проф. Груп.	Проф. Груп.	Проф. Груп.	Повс. Инд.	Повс. Инд.	Повс. Инд.	Проф. Инд.
Страна пр-ва	Финляндия			США		КНР	США		

Примечание: Н – нагрудный, П – наплечный, Б – браслет.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Код программы

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <GyverOLED.h>           // Облегченная графическая библиотека
#include <Wire.h>                // Библиотека для функционирования I2C
#include "MAX30105.h"           // Библиотека для датчика MAX3010x
#include "heartRate.h"          // Модуль определения наличия сердцебиения
#include "BitMapData.h"         // Отрисовка изображений, выводимых на экран
#include "INA219_WE.h"          // Библиотека для функционирования INA219

MAX30105 SensorMAX30102;       // Определение класса сенсора
SoftwareSerial mySerial(2, 3);  // RX, TX

GyverOLED<SSD1306_128x32, OLED_BUFFER> oled(0x3C); // Определение параметров OLED по шине I2C (0x3C)
INA219_WE ina219(0x40);        // Определение модуля INA219 по шине I2C (0x40)

#define DistanceToBodyMax 5000 // Минимальное расстояние функционирования устройства
#define CURRENCY 5             // Количество обрабатываемых значений для вычисления среднего
#define BMPMin 10              // Минимальное значение обработки ЧСС
#define BMPMax 230             // Максимальное значение обработки ЧСС
#define pinButton 7            // Определение вывода для кнопки
#define pinVibro 4             // Определение вывода для вибромотора
#define showTime 3000          // Время показа данных
#define BMPAttention 220       // ЧСС, с которого начинает работать вибромотор
#define showVibro 1000         // Время работы вибромотора

/* Начало определения глобальных переменных */
byte BMPArray[CURRENCY];       // Массив хранения последних CURRENCY значений ЧСС
byte BMPArrayCurrent = 0;      // Текущая перезаписываемая ячейка в массиве BMPArray
long previousTime = 0;         // Предыдущее значение времени считывания
float BMPCurrent;              // Текущее значение ЧСС
int BMPAverage;                // Среднее ЧСС на основе CURRENCY значений ЧСС, считанных ранее
long timeVibro = 0;            // Время начала работы вибромотора
long durationTime = 0;         // Левая граница интервала расчета ЧСС
long timeLCD = 0;              // Время начала работы экрана
bool buttonPressed = 0;        // Флаг нажатия кнопки
char outValue[2] = "FF";      // Массив для вывода итогового изображения
float shuntVoltage_mV = 0.0;   // Переменные, необходимые для расчета текущего заряда аккумулятора
float loadVoltage_V = 0.0;
float busVoltage_V = 0.0;
uint8_t level=0;
char macAdress[] = "D0:39:72:A4:D0:D4";
int sec = 0;
int sleepTime = 60;
unsigned long timer;
bool sleep_flag = 0;
/* Конец определения глобальных переменных */

/* Начало функции инициализации */
void setup() {
  // Инициализация экрана
  oled.init();
  oled.setPower(0);
  // Инициализация сенсора
  SensorMAX30102.begin(Wire, I2C_SPEED_FAST); // Использование I2C интерфейса, скорость 400 кГц
  SensorMAX30102.setup(); // Инициализация сенсора
  SensorMAX30102.setPulseAmplitudeRed(0x0A); // Подсветка сенсора для индикации работы
  // Инициализация сенсорной кнопки и вибромотора
  pinMode(pinButton, INPUT);
  pinMode(pinVibro, OUTPUT);
  // Инициализация датчика INA219
  ina219.setADCMode(BIT_MODE_12); // Разрешение АЦП - 12 бит
  ina219.setPGain(PG_40); // Ток - до 400 мА
  ina219.setBusRange(BRNG_16); // Напряжение - до 16 В
  //Serial.begin(9600);
  timer = millis();
  mySerial.begin(9600);
}
/* Конец функции инициализации */

/* Начало */
void loop() {
  bool btnState = !digitalRead(pinButton); // Получение текущего состояния кнопки
  long DistanceToBodyCurrent = SensorMAX30102.getIR(); // Считывание расстояния ИК сенсором
```

## Продолжение приложения Б

```
shuntVoltage_mV = ina219.getShuntVoltage_mV();
busVoltage_V = ina219.getBusVoltage_V();
loadVoltage_V = busVoltage_V + (shuntVoltage_mV / 1000); // Расчет текущего заряда АКБ (в В)

if (loadVoltage_V < 3.0) level = 0;
else level = 100 - (4.2 - loadVoltage_V) / (4.2 - 3.3) * 100; // Расчет текущего заряда АКБ (в %)

if (!btnState) {
    buttonPressed = 1;
    timeLCD = millis();
    oled.setPower(1);
    if (sleep_flag == true)
    {
        SensorMAX30102.wakeUp();
        sleep_flag = false;
    }
}
else if (millis() - timeLCD > showTime) {
    timeLCD = millis();
    buttonPressed = 0;
    oled.setPower(0);
}

if (millis() - timeVibro > showVibro) {
    digitalWrite(pinVibro, LOW);
    timeVibro = millis();
}

if (sec == sleepTime && sleep_flag == false) {
    SensorMAX30102.shutdown();
    sleep_flag = true;
}

if (sleep_flag == false)
{
    // Датчик не обнаружил участок тела
    if (DistanceToBodyCurrent < DistanceToBodyMax) {
        outValue[0] = char('D'); // Сенсор не определил участок тела
        outValue[1] = char(1); // Текущее значение пульса - 0
        mySerial.println(outValue);
        if (millis() - timer > 1000) {
            timer = millis();
            sec = sec + 1;
        }
    }
}

// Вывод предупреждения об отсутствии датчика на участке тела
if (DistanceToBodyCurrent < DistanceToBodyMax && buttonPressed == 1) {
    BMPAverage = 0;
    oled.clear();
    oled.setScale(1);
    oled.setCursorXY(0, 0);
    oled.print("Приложите");
    oled.setCursorXY(0, 10);
    oled.print("браслет к руке");
    oled.setCursorXY(90, 0);
    oled.print("B:");
    oled.print(level);
    oled.print("%");
    oled.setCursorXY(0, 20);
    oled.print("MAC:");
    oled.print(macAdress);
    oled.update();
}

if (DistanceToBodyCurrent > DistanceToBodyMax)
{
    sec = 0;
    if (BMPAttention < BMPAverage) {
        if (pinVibro != HIGH) digitalWrite(pinVibro, HIGH);
        timeVibro = millis();
    }
    if (buttonPressed == 1) {
        oled.clear();
        oled.drawBitmap(0, 0, heart, 32, 32, BITMAP_NORMAL, BUF_REPLACE);
        oled.setScale(2);
        oled.setCursorXY(35, 0);
    }
}
```

```

if (BMPAttention < BMPAverage) oled.print("Внимание");
else oled.print("ЧСС");
oled.setCursorXY(35,16);
oled.print(BMPAverage);
oled.setScale(1);
oled.setCursorXY(90, 20);
oled.print("В:");
oled.print(level);
oled.print("%");
oled.update();
}

// Обнаружен пульс
if (checkForBeat(DistanceToBodyCurrent) == true){
  if (buttonPressed == 1){
    oled.clear();
    oled.drawBitmap(0, 0, heart_pulse, 32, 32, BITMAP_NORMAL, BUF_REPLACE);
    oled.setScale(2);
    oled.setCursorXY(35,0);
    if (BMPAttention < BMPAverage) oled.print("Внимание");
    else oled.print("ЧСС");
    oled.setCursorXY(35,16);
    oled.print(BMPAverage);
    oled.setCursorXY(90, 20);
    oled.print("В:");
    oled.print(level);
    oled.print("%");
    oled.update();
  }

  Serial.println(BMPAverage);
  outValue[0] = char('F'); // Сенсор определил участок тела
  outValue[1] = char(BMPAverage); // Вывод текущего значения пульса
  mySerial.println(outValue);

  /* Расчет ЧСС */
  durationTime = millis() - previousTime; // Расчет оперируемого интервала времени
  previousTime = millis(); // Запоминание текущего значения времени

  BMPCurrent = 60 / (durationTime / 1000.0); // Расчет ЧСС (уд./мин.)
  // формула ЧСС = 60 / ( t2 -t1 )

  if (BMPMin < BMPCurrent < BMPMax) // Допуск к фильтрации ЧСС по min и max значению
  {
    // Увеличение точности системы, достигается расчетом среднего значения массива
    // последних считанных значений размером CURRENCY
    BMPArray[BMPArrayCurrent++] = (byte)BMPCurrent;
    BMPArrayCurrent %= CURRENCY;

    // Расчет среднего значения пульса на основе CURRENCY последних значений
    BMPAverage = 0;
    for (byte i = 0 ; i < CURRENCY ; i++) BMPAverage += BMPArray[i];
    BMPAverage /= CURRENCY;
  }
}
/* Окончание расчета ЧСС */
}
}
}
/* Конец */

```

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

## Принципиальная схема

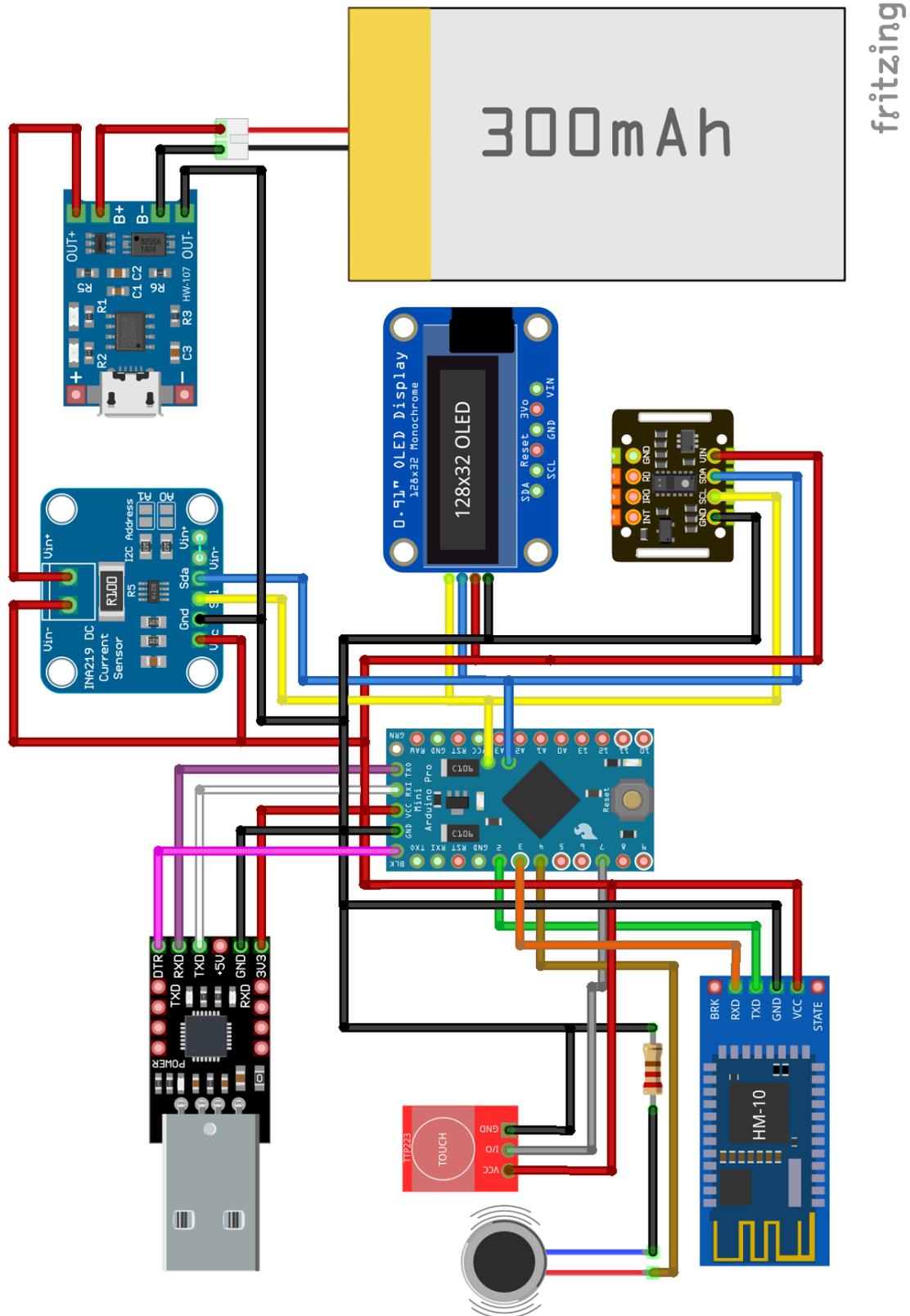


Рисунок В.1 – Схема устройства на макетной плате

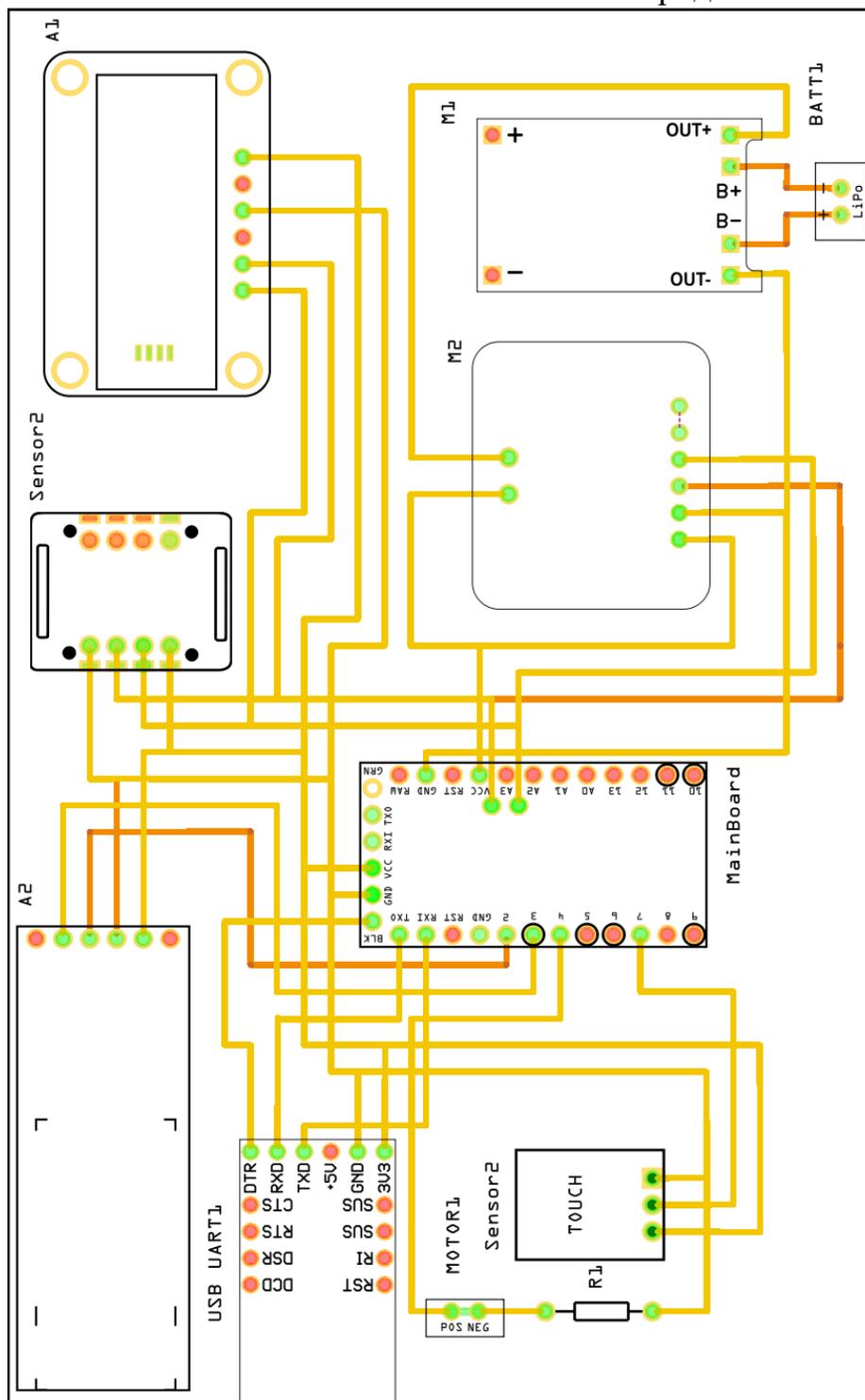
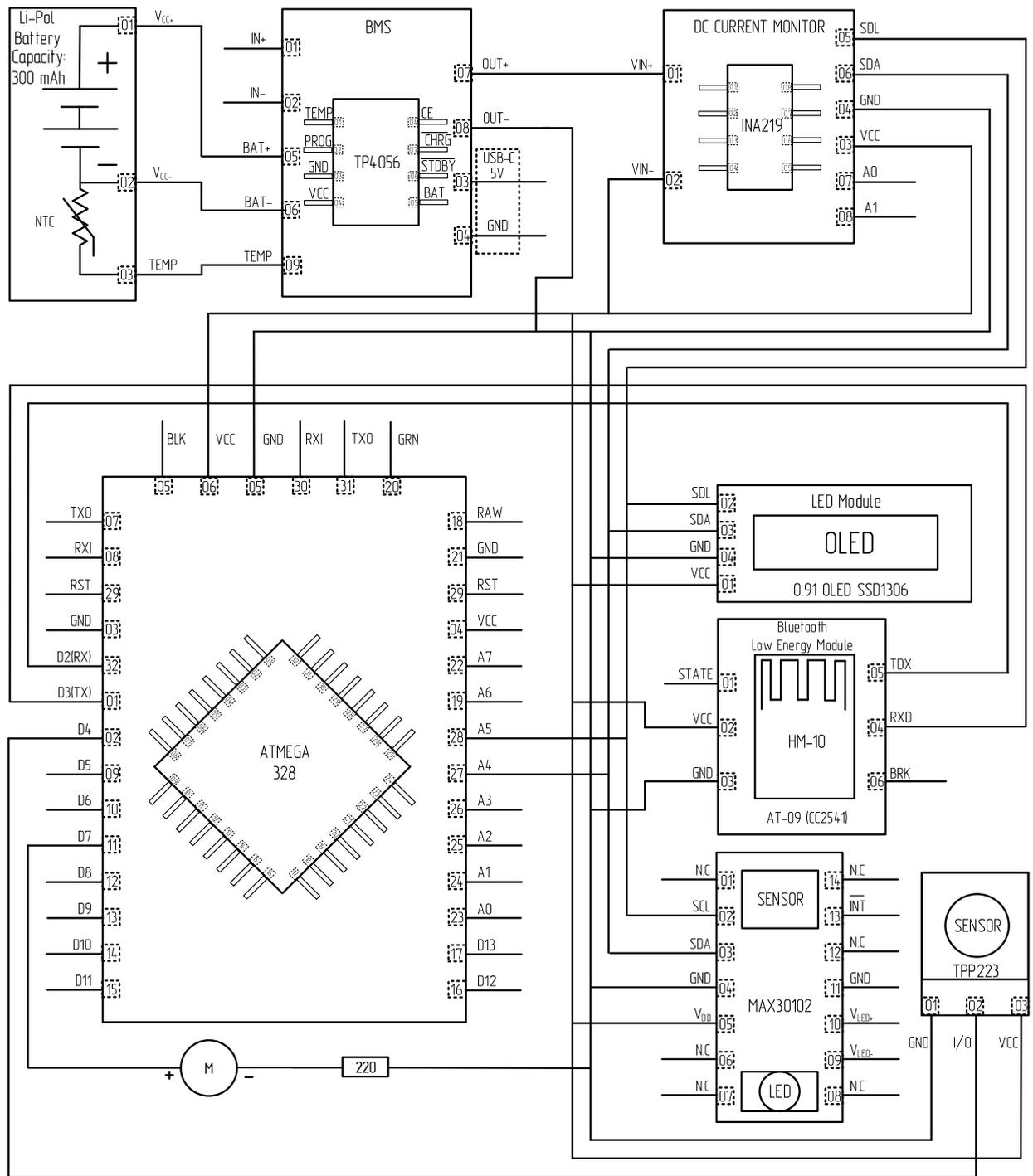


Рисунок В.2 – Принципиальная схема устройства



ЮУрГУ-090301.2022.211 ПС

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Зелениченко А.А.		
Провер.		Топольский Д.В.		
Н. Контр.		Алтухова М.А.		
Утв.		Топольский Д.В.		

Принципиальная схема

Лит.	Лист	Листов
Д	79	92

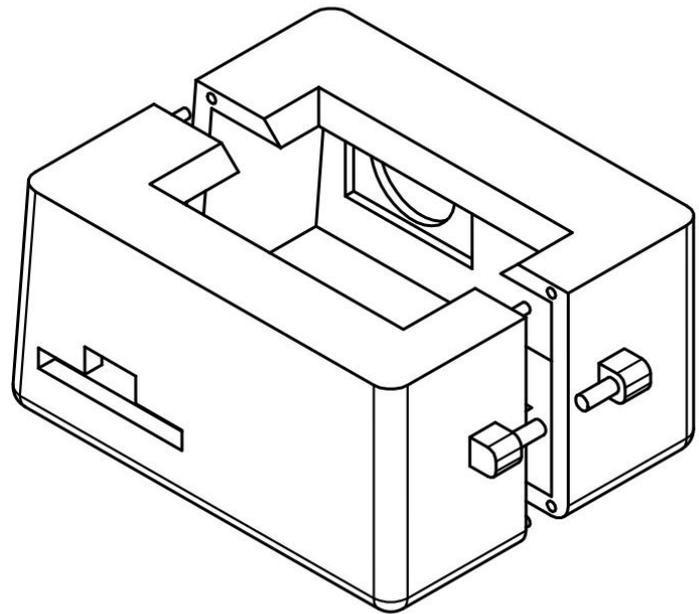
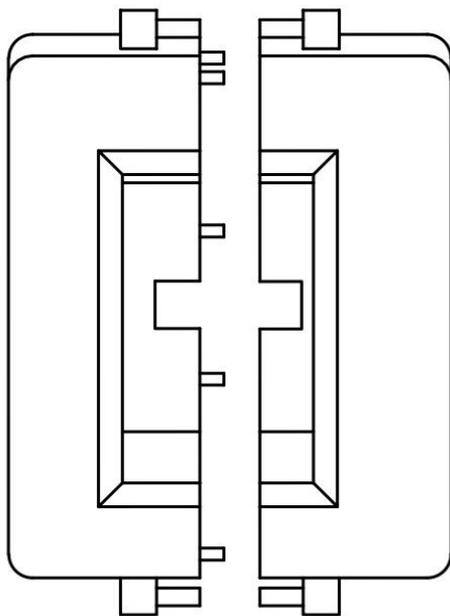
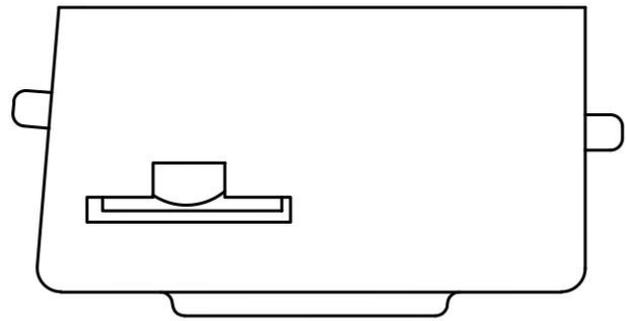
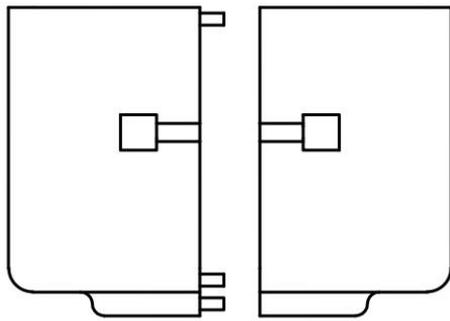
Кафедра ЭВМ

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

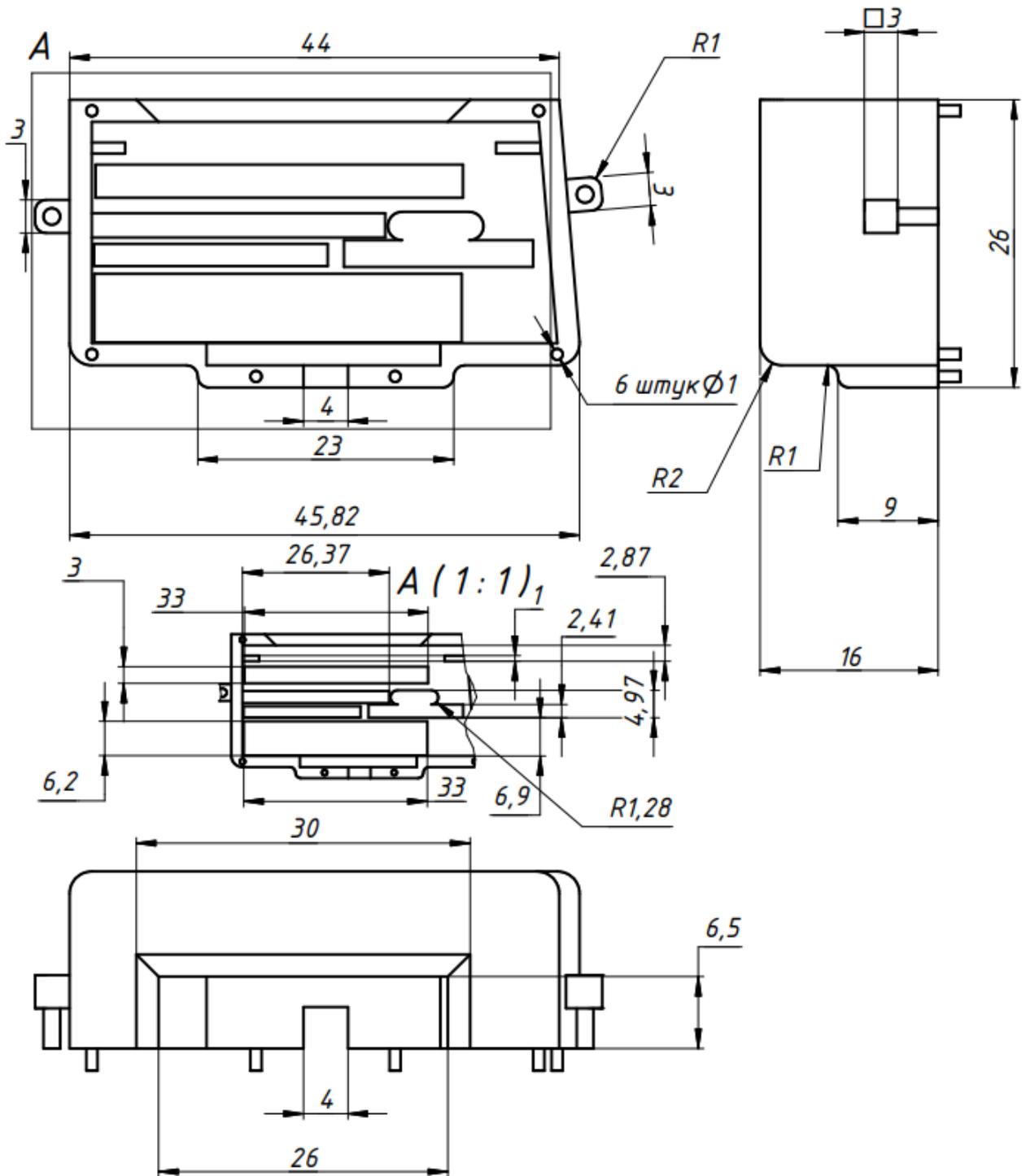
### **Чертежи**

В приложении представлены следующие чертежи:

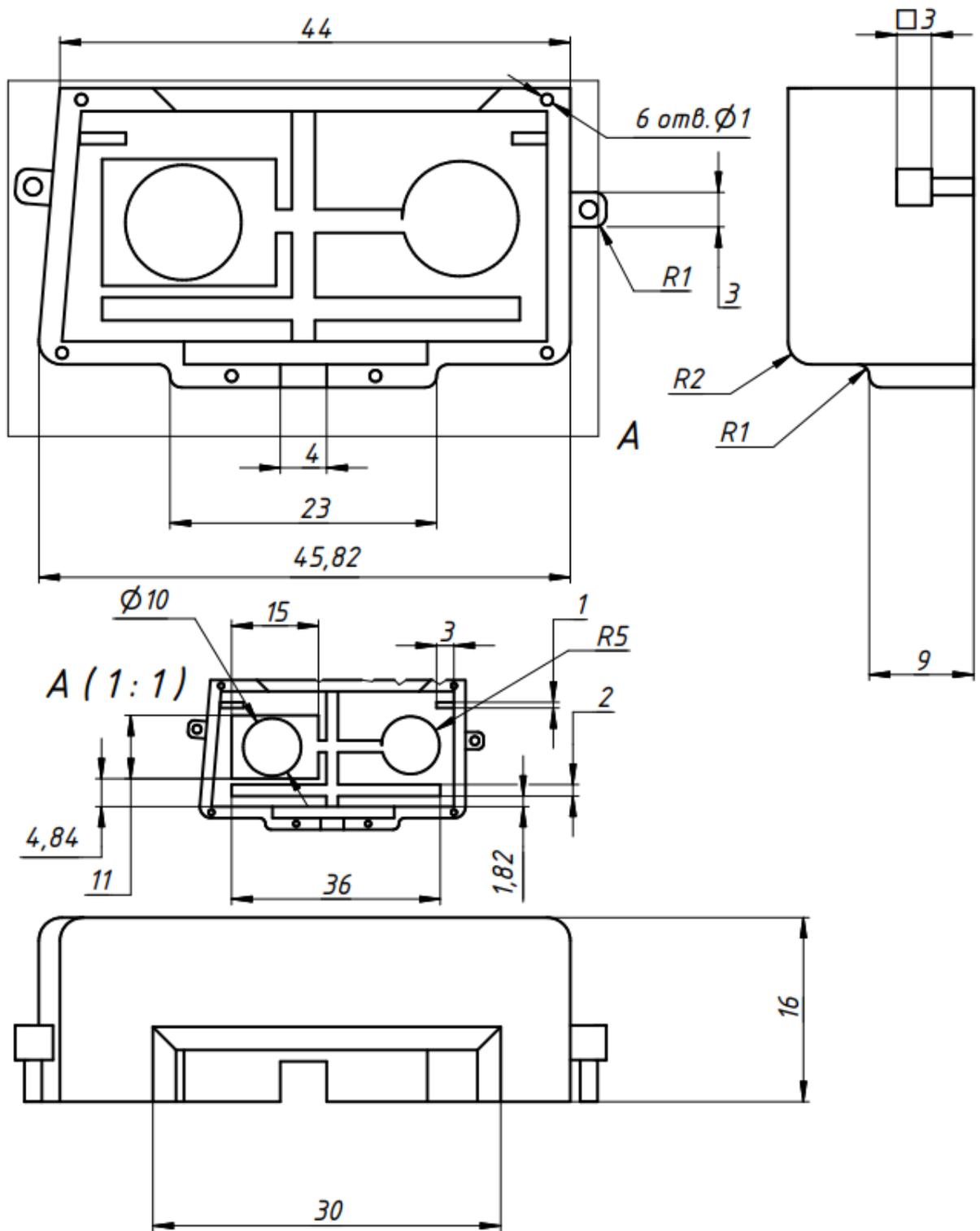
- 1) сборочный чертеж ЮУрГУ-090301.2022.211 СЧ;
- 2) чертеж левой части ЮУрГУ-090301.2022.211 ЛЧ;
- 3) чертеж правой части ЮУрГУ-090301.2022.211 ПЧ.



					<i>ЮУрГУ-090301.2022.211 СЧ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Зелениченко А.А.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Топольский Д.В.</i>			<i>Д</i>	81	92
<i>Н. Контр.</i>		<i>Алтухова М.А.</i>			<i>Сборочный чертеж</i>		
<i>Утв.</i>		<i>Топольский Д.В.</i>					



					ЮУрГУ-090301.2022.211 ЛЧ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Зелениченко А.А.					
Провер.		Топольский Д.В.					
Н. Контр.		Алтухова М.А.					
Утв.		Топольский Д.В.					
Левая часть					Лит.	Лист	Листов
					Д	82	92
					Кафедра ЭВМ		



ЮУрГУ-090301.2022.211 ПЧ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Зелениченко А.А.		
Провер.		Топольский Д.В.		
Н. Контр.		Алтухова М.А.		
Утв.		Топольский Д.В.		

Правая часть

Лит.	Лист	Листов
Д	83	92

Кафедра ЭВМ

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Характеристики модулей

Таблица Д.1 – Характеристики Arduino Pro Mini 3.3V/8MHz

<b>Arduino Pro Mini 3.3V/8MHz</b>	
<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
МК	ATmega328P
FLASH, Кб	32
SRAM, Кб	2
EEPROM, Кб	1
Частота МК, МГц	8
USI	I <sup>2</sup> C, UART, SPI
GPIO, ед.	14
Аналоговые выводы, ед.	6
U <sub>CC</sub> , В	3.3
Другие	ADC, PWM, RAW
Размер, мм	33x18x3
Вес, г	5

Таблица Д.2 – Характеристики сенсорного модуля MH-ET LIVE MAX30102

<b>MH-ET LIVE MAX30102</b>	
<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Измеряемые параметры	ЧСС, SpO <sub>2</sub>
I <sub>изм</sub> , мА	1.2
I <sub>сон</sub> , мА	<0.01
U <sub>CC</sub> , В	3.3
Интерфейс	I <sup>2</sup> C
Максимальная частота интерфейса, кГц	400
Размер, мм	18.5x14.5x3
Вес, г	1

Таблица Д.3 – Характеристики модуля BLE AT-09 (HM-10)

<b>AT-09</b>	
<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
I <sub>подкл</sub> , mA	<40
I <sub>прд</sub> , mA	0.2...8
U <sub>сс</sub> , В	3.3...5
Частотный диапазон, ГГц	ISM 2.4 ... 2.48
Дальность связи, м	до 100
Интерфейс	UART
Безопасность	аутентификация и шифрование
Сервис	0xFFE0 (модифицируемый)
Характеристика	0xFFE1 (модифицируемая)
Мощность передатчика, дБ	< +6
Размер, мм	27x13x2.2
Вес, г	4

Таблица Д.4 – Характеристики АКБ Delta LP-602030

<b>Delta LP-602030</b>	
<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Номинальное напряжение, В	3.7
Номинальная емкость С, мАч	300
Внутреннее сопротивление, мОм	≤230
Рабочая температура Заряд, °С	+15 ~ +60
Рабочая температура Разряд, °С	-20 ~ +60
Максимальный ток разряда, А	1С
Метод заряда	постоянный ток
Рекомендуемый зарядный ток, А	0.2С
Максимальный зарядный ток, А	0.5С
Размер, мм	33x20.5x6.2
Вес нетто, г	7

Таблица Д.5 – Характеристики платы TP4056

<b>TP4056</b>	
<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Контроллер	TP4056 и DW01 для защиты
Режим зарядки	линейная 1%
Ток зарядки, А	до 1 (настраивается)
Точность зарядки, %	1.5
Входное напряжение, В	4.5...5.5
Напряжение полного заряда, В	4.2
Интерфейс	Type-C
Защита от перезаряда/переразряда	Есть
Размеры платы	18x18x4
Вес нетто, г	5

Таблица Д.6 – Характеристики платы INA219

<b>INA219</b>	
<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Напряжение питания, В	3...5.5
Потребляемый ток, мА	< 1
Диапазон измеряемых напряжений, В	0...26
Максимальная измеряемая сила тока, А	3.2
Разрядность АЦП, бит	12
Погрешность измерений, %	< 1
Протокол	I2C (Fast mode – 400 кбит/с, High speed – 3.4 Мбит/с)
Размеры платы	25x21x2
Вес нетто, г	3

Таблица Д.7 – Характеристики платы ТТР233

<b>ТТР233</b>	
<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Напряжение питания, В	3...5.5
Потребляемый ток, мкА	70...130
Выходной уровень высокий (3В/5В), В	2.6/4
Выходной уровень низкий (3В/5В), В	0/0
Максимальное время срабатывания, мс	220
Размеры платы	11x15x2
Вес нетто, г	1

Таблица Д.8 – Характеристики вибромотора

<b>DC 3-5 V 1020</b>	
<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Напряжение питания, В	3...5
Тип питающего тока	Постоянный
Пусковой ток, мА	90
Номинальный ток, мА	50
Размеры	10x10x2
Вес нетто, г	5

Таблица Д.9 – Характеристики OLED экрана

<b>OLED 0.91 Inch</b>	
<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Напряжение питания, В	3...5
Драйвер	SSD1306
Разрешение	128x32
Интерфейс	I <sup>2</sup> C
Размеры платы	36x12.5x4
Вес нетто, г	3

Таблица Д.10 – Характеристики USB-UART преобразователя

<b>CP2102</b>	
<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Интерфейс	UART
Скорость обмена данными, Мбит/с	0.3...1
Буфер чтения / записи, Б	576/640
Максимальный ток, мА	100
Размеры	26.5x15.6x6
Вес нетто, г	48

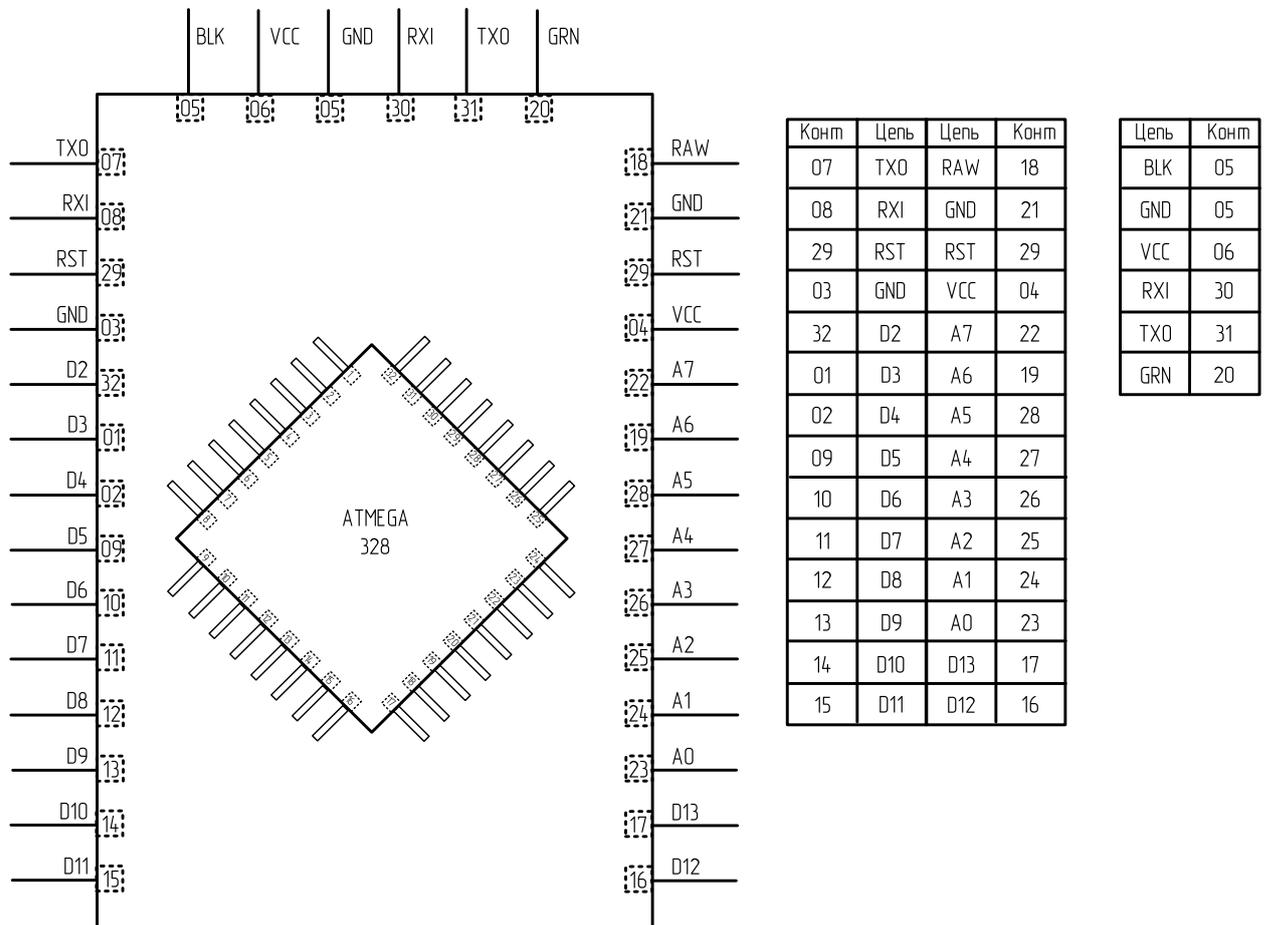
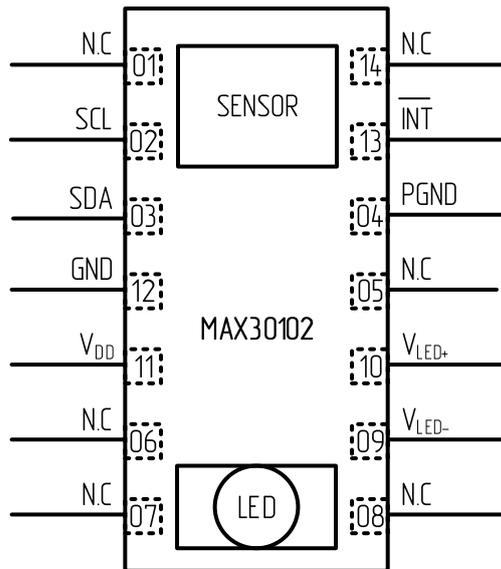
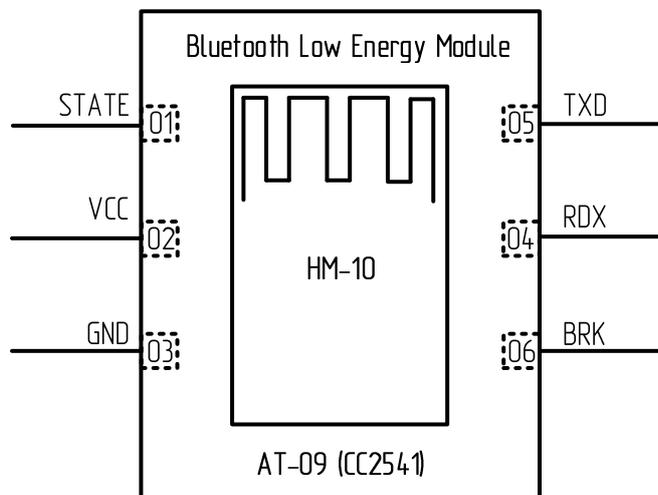


Рисунок Д.1 – Графическое обозначение Arduino Pro Mini 3.3V/8MHz



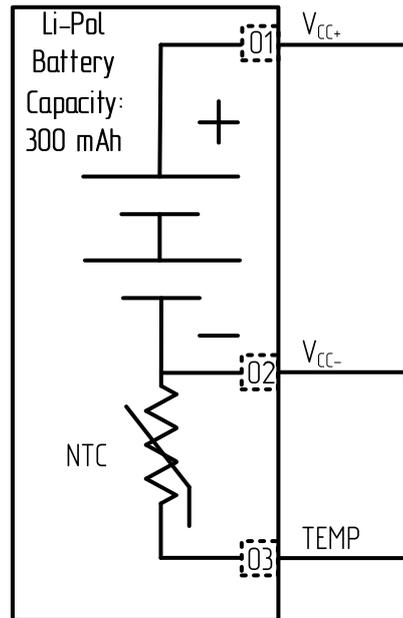
Цепь	Конт
N.C	01
SCL	02
SDA	03
PGND	04
N.C	05
N.C	06
N.C	07
N.C	08
V <sub>LED+</sub>	09
V <sub>LED+</sub>	10
V <sub>DD</sub>	11
GND	12
$\overline{\text{INT}}$	13
N.C	14

Рисунок Д.2 – Графическое обозначение МН-ЕТ LIVE MAX30102



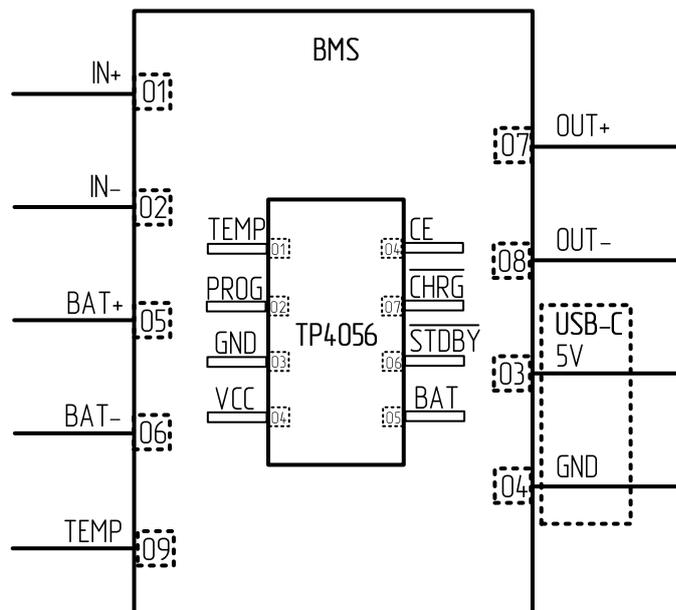
Цепь	Конт
STATE	01
VCC	02
GND	03
RDX	04
TXD	05
BRK	06

Рисунок Д.3 – Графическое обозначение BLE AT-09 (HM-10)



Цепь	Конт
V <sub>CC+</sub>	01
V <sub>CC-</sub>	02
TEMP	03

Рисунок Д.4 – Графическое обозначение Delta LP-602030



Цепь	Конт
IN+	01
IN-	02
5V	03
GND	04
BAT+	05
BAT-	06
OUT+	07
OUT-	08
TEMP	09

Рисунок Д.5 – Графическое обозначение TP4056

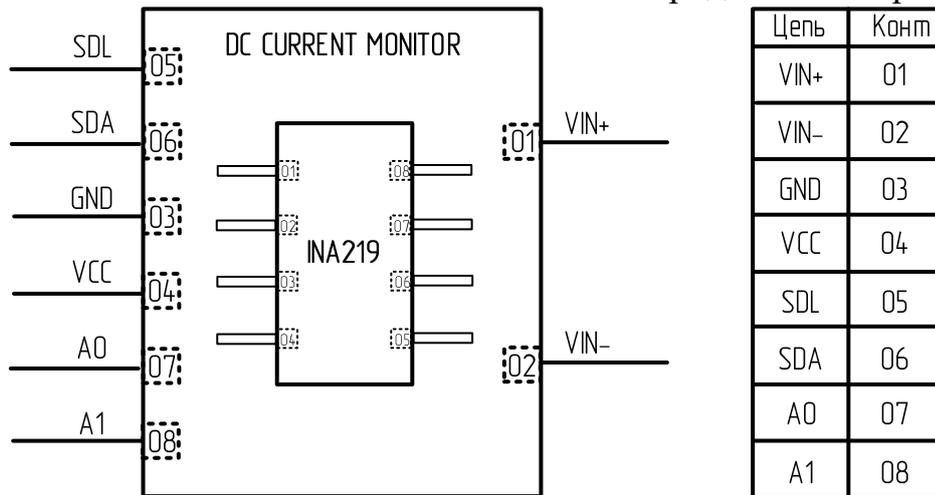


Рисунок Д.6 – Графическое обозначение INA219

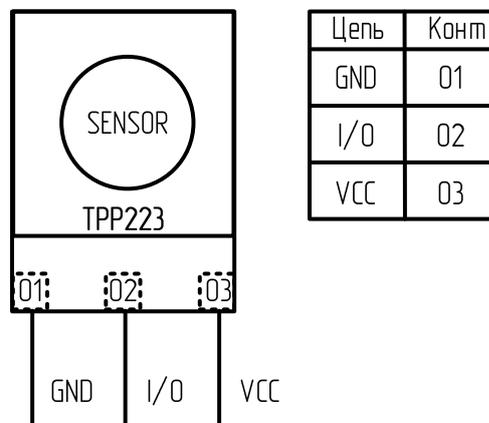


Рисунок Д.7 – Графическое обозначение ТТР233

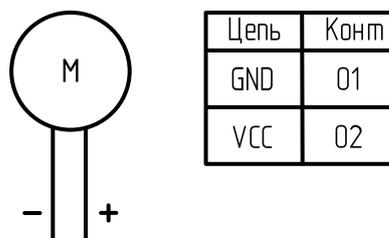


Рисунок Д.8 – Графическое обозначение вибромотора

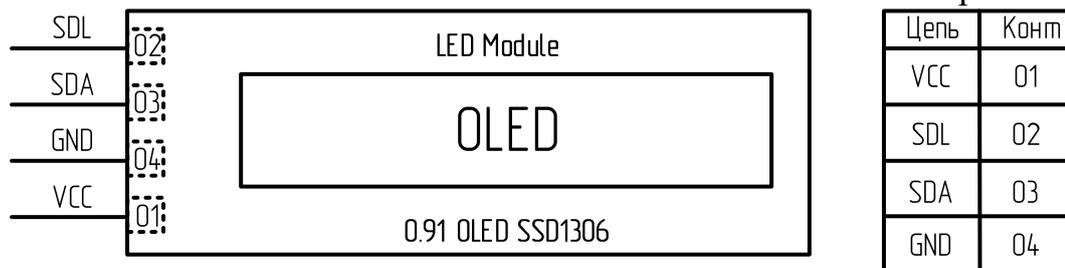


Рисунок Д.9 – Графическое обозначение OLED модуля

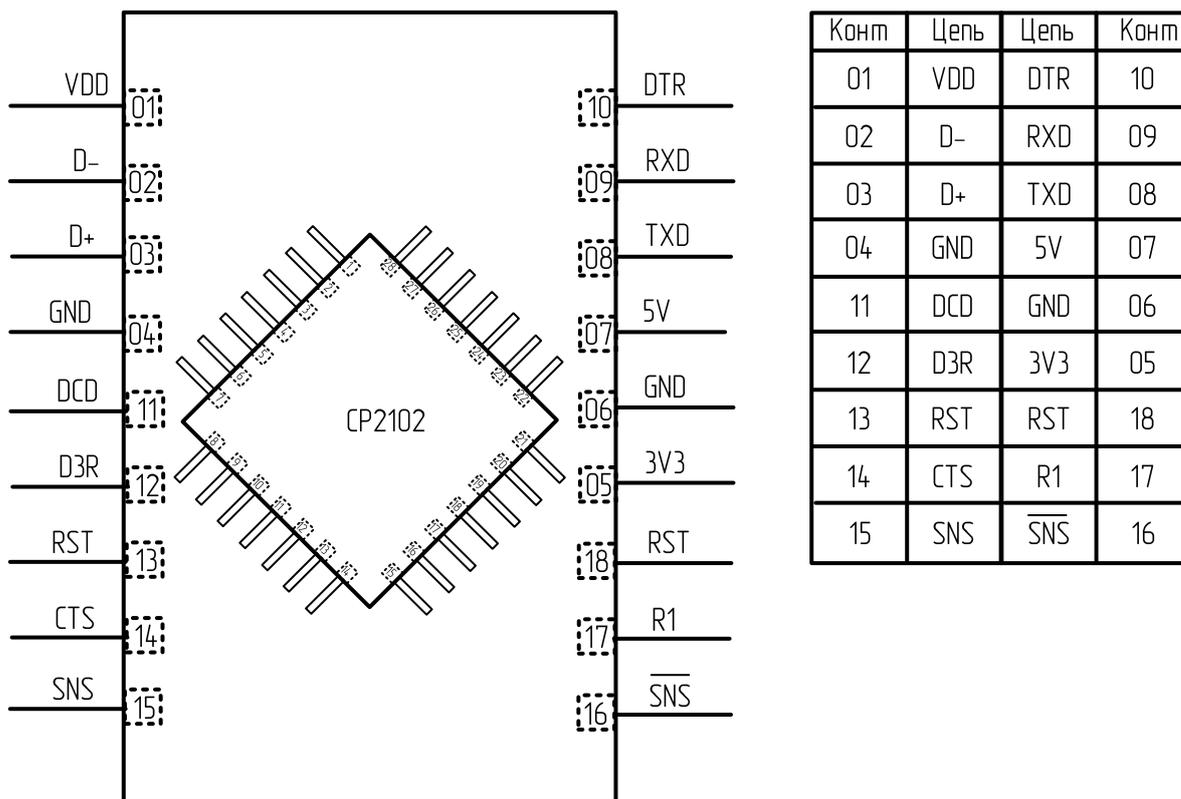


Рисунок Д.10 – Графическое обозначение USB-UART преобразователя