

## ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В СФЕРЕ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ. СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

*Стефняк Ю.В.*

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
филиал «Минский радиотехнический колледж»  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Авхимович И.В. – председатель ЦК «Программируемые мобильные системы»,  
преподаватель высшей категории общепрофессионального и специального циклов*

**Аннотация.** Сегодня пандемия коронавируса не дает возможности часто посещать медицинские учреждения пациентам с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, людям с инвалидностью, беременным женщинам, а также людям, чей диагноз не позволяет выходить из дома и испытывать нагрузки. Проблема достаточно серьезна для маломобильных лиц, имеющих хронические заболевания, у многих из них часто возникает потребность измерять показатели здоровья ежедневно. Установлено, по статистике: 40 % – общий процент целевых рассматриваемых групп от всего населения Республики Беларусь, 30 % людей страдают от сердечно – сосудистых заболеваний, 16% из которых нуждаются в постоянном обследовании. 36% населения на сегодняшний момент страдают от постковидного синдрома, и от связанных с ним сердечно-сосудистых заболеваний. На основании данной проблемы было разработана система мониторинга параметров здоровья человека – устройство для снятия показаний электрокардиограммы (ЭКГ), температуры, пульса и уровня кислорода в крови, с управлением с помощью мобильного приложения и хранением данных на облачной платформе с использованием веб-сервера, где удаленно их контролирует лечащий врач пациента.

**Ключевые слова:** система, мониторинг здоровья, микроконтроллер, электрокардиограмма, пульсоксиметр, сатурация, температура, MQTT протокол, MQTT брокер, веб-сервер, мобильное приложение

**Введение.** Борьба с болезнями сердечно-сосудистой системы стала основной задачей здравоохранения и медицинской науки наряду с такими заболеваниями как рак, или СПИД.

Глубокий интерес к этой проблеме определяется широким распространением сердечно-сосудистых заболеваний, тенденцией к нарастанию их у лиц молодого возраста, в частности детей различных возрастных групп, огромной их ролью в смертности населения (1–2 место) среди всех заболеваний.

Поэтому столь актуально практическое применение принципов и разработка эффективных методов лечения, реабилитации и, а в большей степени наиболее ранней диагностике заболеваний сердечно-сосудистых заболеваний.

Значительное усложнение данной проблемы приносит тот факт, что многие люди, например, люди с инвалидностью, пожилые или беременные могут своевременно не попасть в медучреждение из-за большого количество препятствующих факторов, таких как:

- тяжелая степень сердечно-сосудистых заболеваний или сопутствующих заболеваний у человека;
- малоподвижность или обездвиженность;
- отсутствие безбарьерной среды;
- неблагоприятные погодные условия.

Следовательно, можно сделать вывод, есть риск, что люди из уязвимых групп, а это более 40 %, не смогут получить необходимое обследование вовремя. А существующие методы ЭКГ-исследования по средствам холтеровского мониторинга в полной мере не решают данную проблему, так как существующие для этого устройства в Беларуси являются эргономически неудобными, что не дает гарантию качественного исследования.

Возможность удаленного мониторинга в реальном масштабе времени жизненно важных параметров имеет огромное значение для эффективного контроля врачом состояния здоровья пациента и предупреждения болезней.

В данной статье автором показано, что усовершенствование конструктива существующих устройств обследования здоровья и обеспечение дистанционной связи с врачом-специалистом позволит облегчить процесс исследования сердечно-сосудистой системы и улучшит жизнь человеку, имеющему специальные потребности. Описан процесс проектирования и разработки устройства системы мониторинга параметров здоровья человека.

**Основная часть.** Для решения приведенной проблемы перед автором стояла цель разработать универсальную систему мониторинга здоровья человека на основе биометрических малогабаритных датчиков, с возможностью измерения электрокардиограммы (ЭКГ), температуры, пульса и сатурации (уровня кислорода в крови), с управлением с помощью мобильного приложения и хранением данных на облачной платформе с использованием удаленного веб-сервера, где их видит и контролирует лечащий врач пациента.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ аналогичных решений систем мониторинга здоровья;
- выделить особенности разрабатываемой системы;
- получить консультацию у врача-специалиста на предмет пригодности и правильности идеи прототипа с учетом медицинских особенностей;
- спроектировать прототип устройства;
- протестировать изготовленное устройство и корректность передачи снятых показаний.

Для того, чтобы определить основные функциональные части системы мониторинга здоровья, их назначение на первом этапе проектирования устройства была создана схема электрическая структурная, которая представлена на рисунке 1.

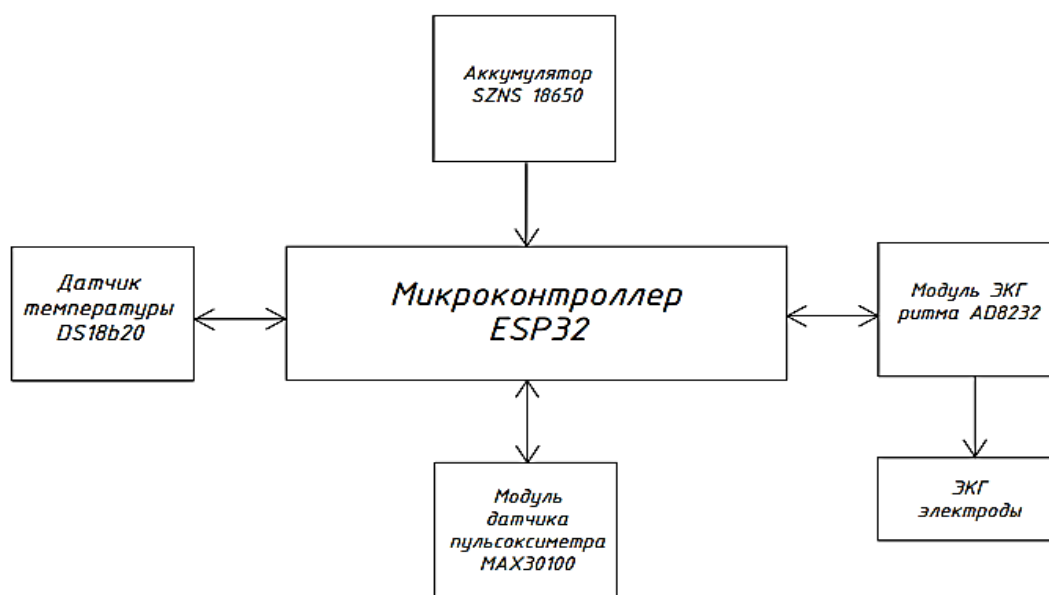


Рисунок 1 – Схема электрическая структурная

Микроконтроллер ESP32 управляется при помощи программы и управляет всеми блоками рассматриваемого устройства.

Аккумулятор SZNS 18650 обеспечивает питание всем составным частям схемы электрической структурной устройства системы мониторинга параметров здоровья человека.

Датчик температуры DS18B20 связан непосредственно с микроконтроллером для обмена данными о уровне температуры у человека.

Микроконтроллер управляет состояниями датчика, переводит в логический ноль или в логическую единицу по шине датчика DQ.

К микроконтроллеру также подключены модуль ЭКГ ритма AD8232 и датчик пульсоксиметра MAX30100. Модуль ЭКГ обменивается с микроконтроллером (МК) данными о со-

стоянии электрокардиограммы сердца, ESP32 преобразует эти данные и выводит в графическом виде. К модулю ЭКГ подключается три ЭКГ электрода. MAX30100 – модуль датчика пульсоксиметра, передает микроконтроллеру данные о состоянии пульса и процента кислорода в крови у человека.

В процессе проектирования устройства были выбраны электронные компоненты системы мониторинга параметров здоровья человека, соответствующие следующим поставленным условиям:

- рабочая температура, °C.....+5 ...+35;
- относительная влажность при температуре +25°C, %.....75;
- время работы устройства при питании, ч .....более 24;
- вибрация на одной частоте, Гц .....20;
- время выдержки, ч .....0,9.

В качестве основного элемента разработанной системы мониторинга параметров здоровья человека был выбран программируемый микроконтроллер ESP32 NodeMCU 32S[1].

На рисунке 2 представлена схема электрическая принципиальная[5] устройства системы мониторинга параметров здоровья человека. Ниже подробно описаны ее составные части в соответствии с выбранной элементной базой устройства системы мониторинга параметров здоровья человека.

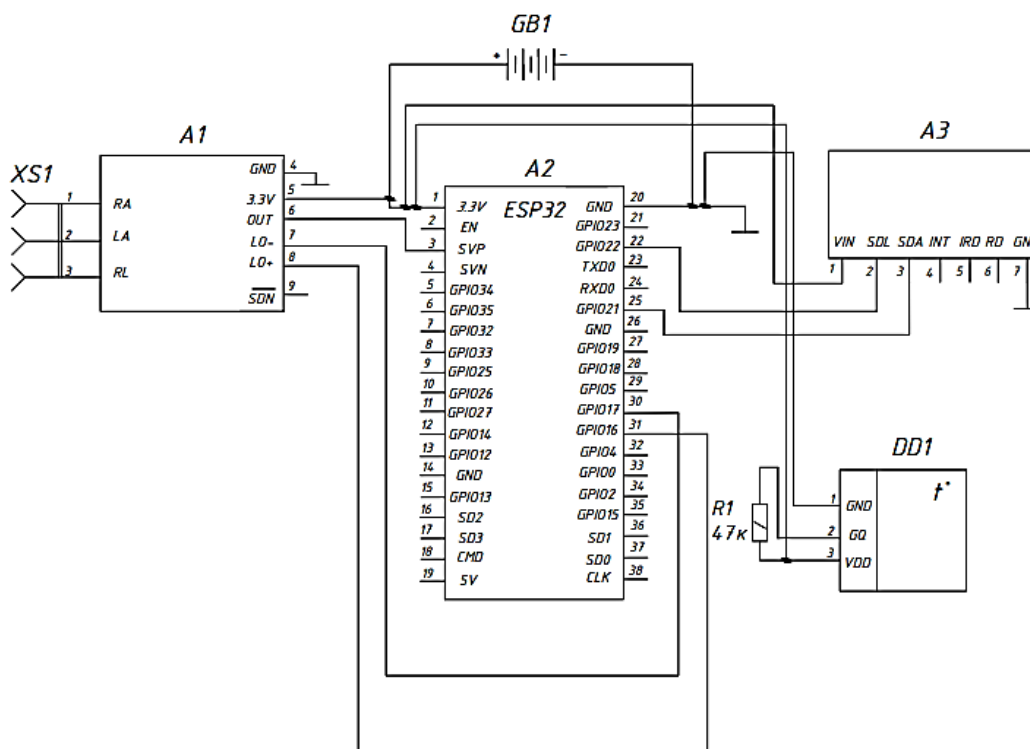


Рисунок 2 – Схема электрическая принципиальная

К микроконтроллеру ESP32 NodeMCU 32S - A2 подключены A3 и A1 – MAX30100 и AD8232.

Модуль ЭКГ AD8232 – это модуль на базе микросхемы AD8232, используемый для измерения электрокардиограммы сердца. Встроенная микросхема в модуль ЭКГ AD8232 – полностью интегрированный интерфейс для ЭКГ с одним отведением. Его конструкция позволяет использовать аналого-цифровой преобразователь (АЦП) сверхмалой мощности или встроенный микроконтроллер для легкого получения выходного сигнала.

Для снятия показаний модулю ЭКГ AD8232 подключаются три электрода, в разрабатываемом устройстве системы мониторинга параметров здоровья человека используются широко распространенные самоклеящиеся электроды с кнопочной фиксацией разъема кабеля.

На плате также имеются контактные площадки для установки pin-разъема, дублирующего 3,5 мм разъем подключения электродов (на схеме электрической принципиальной обозначен как XS1).

A3 на схеме – MAX30100 – это оптический датчик пульсоксиметра. В его состав входят два светодиода, фотодетектор, оптимизированная оптика и аналоговый интерфейс.

На схеме электрической принципиальной (рисунок 2) DD1–DS18B20 – это цифровой измеритель температуры, с разрешением преобразования 9–12 разрядов и функцией тревожного сигнала контроля за температурой.

Диапазон измерения температуры составляет от –55 до +125 °С. Для диапазона от –10 до +85 °С погрешность не превышает 0,5 °С [5].

Сенсор датчика подключается к плате через один сигнальный пин. Напряжение тока во время работы датчика: 3–3,7В.

R1 – подтягивающий резистор на 47кОм к датчику температуры DS18B20.

Питание устройства осуществляется по средствам аккумулятора, на схеме GB1 – аккумулятор SZNS 18650 3,7 V 7.4Wh 2200 мАч, он подключается к микроконтроллеру ESP32 в холдере.

Для осуществления связи электронных компонентов устройства между собой была разработана схема электрическая соединений, представленная на рисунке 3.

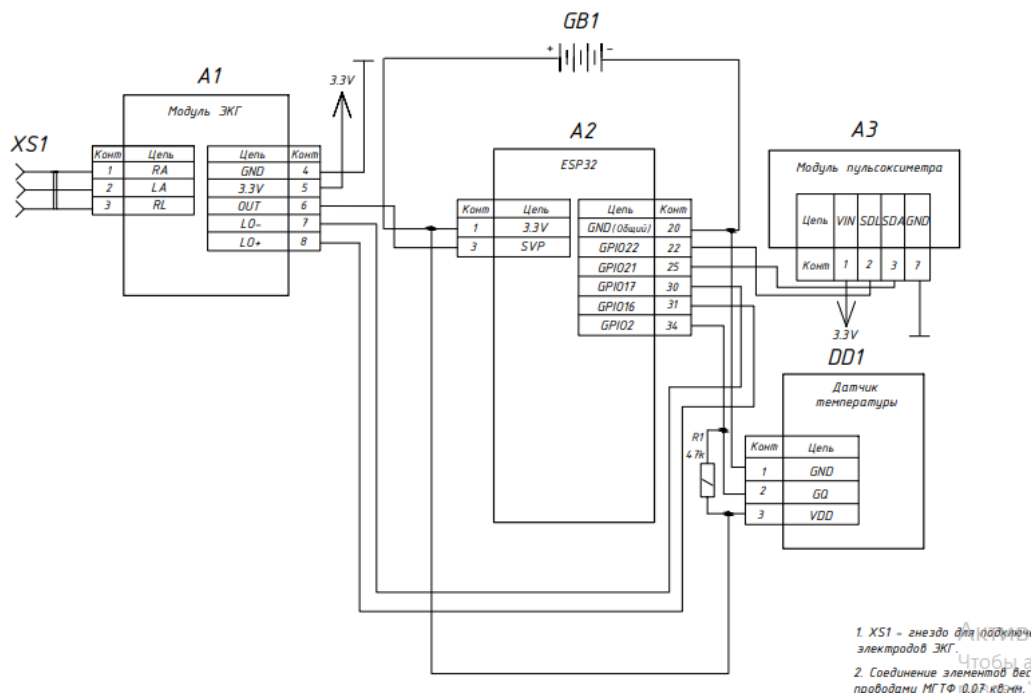


Рисунок 3 – Схема электрическая соединений

Схема электрическая соединений состоит из четырех блоков: модулей A1, A2, A3 и микросхемы DD1.

A2 – Микроконтроллер ESP32, в нем используется всего 8 пинов. SVP – вывод на аналоговый вход, 3V3 – питание (Логический уровень единицы), GND – заземление (Логический уровень нуля), GPIO21, GPIO22, GPIO16, GPIO17, GPIO2 – контакты ввода-вывода.

На схеме A1 – Модуль ЭКГ AD8232. К модулю присоединяется три электрода, которые подключаются к телу человека.

Электроды объединены в один вывод – штекер типа TRS 7-0012 / SZC-0012[5] на 3.5 мм, который подключается к модулю датчика через разъем XP1 по схеме. XS1 – гнездо 3.5 мм, типа TRS СКХ3-3.5-26, установлено на плате.

В случае его отсутствия, поломки или необходимости получать данные только с 1–2 электродов, можно воспользоваться «запасными» контактами на плате AD8232: они подписаны, как RA, LA, RL.

На плате модуля ЭКГ имеются 6 контактов, но для подключения к микроконтроллеру ESP32 используются пять из них:

- GND – заземление (к контакту "GND" на плате ESP32);
- 3,3 V – входной контакт питания (3,3 В);
- OUTPUT – сигнальный вывод, с которого можно считать напряжение (к аналоговому контакту на микроконтроллере), подключается к выводу SVP ESP32;
- LO– – к цифровому контакту 30 (GPIO16);
- LO+ – к цифровому контакту 31 (GPIO17).

A3 – Модуль датчика пульсоксиметра MAX30100.

Датчик пульсоксиметра MAX30100 имеет семь выводов, но для подключения к ESP 32 используются всего четыре:

- Vin – питание датчика от 3,3В;
- GND – заземление;
- SCL – вход тактовой частоты шины I2C;
- SDA – двунаправленная передача данных I2C (открытый коллектор).

Схема соединения выводов MAX30100 с ESP32 следующая: контакт ESP32 GPIO22 присоединяем к MAX30100 SCL, ESP32 GPIO21 к MAX30100 SDA, ESP32 GND к MAX30100 GND, ESP32 3,3 В к MAX30100 VIN.

На схеме электрической соединений микросхема DD1 – цифровой датчик температуры DS18B20.

В таблице 1 описано назначение выводов датчика температуры DS18B20.

Таблица 1 – Назначение выводов датчика температуры DS18B20

Вывод	Сигнал	Описание
1	GND	Земля
2	DQ	Вывод сигнала данных (входа/выход). Выход типа открытый коллектор интерфейса 1-Wire. Также через него происходит питание в режиме «паразитное питание».
3	V <sub>DD</sub>	Вывод внешнего питания. В режиме «паразитного питания» подключен к земле.

К ESP32 датчик температуры DS18B20 подключен следующим образом. Контакт GND датчика подключается к общему контакту GND у ESP32.

VDD – к 3,3 В, DQ к цифровому контакту GPIO2. К выводам DQ (шина данных) и VDD параллельно подключен подтягивающий резистор R1 на 47 кОм.

Питание всей системы осуществляется от аккумулятора 18650 SZNS (на схеме электрической соединений GB1), он подключается «плюсом» к 3V3 микроконтроллера ESP32, «минусом» – к его контакту общего для всей цепи заземления.

Соединение всех элементов схемы устройства системы мониторинга параметров здоровья человека осуществляется проводами типа МГТФ 0,07 кв.мм по ГОСТу: ГОСТ/ТУ 16-505.185-71 [3].

Провода типа МГТФ 0,07 кв. мм. – провода, предназначенные для внутри приборного и межприборного монтажа, соединений электронной и электрической аппаратуры. МГТФ – тип провода с медной жилой с изоляцией из запеченных пленок фторопласта-4, рабочая температура, от –60 С до +220С, вес 1.57 г [3].

По схеме электрической соединений осуществлялась сборка системы мониторинга параметров здоровья человека и соединение всех ее элементов.

Произведенные конструкторские расчеты и ряд технических решений во время проектирования устройства позволили под разработанные габариты платы спроектировать корпус для системы мониторинга параметров здоровья человека в программе SolidWorks 2020.

Процесс проектирования корпуса устройства системы мониторинга параметров здоровья человека иллюстрирует рисунок 4.

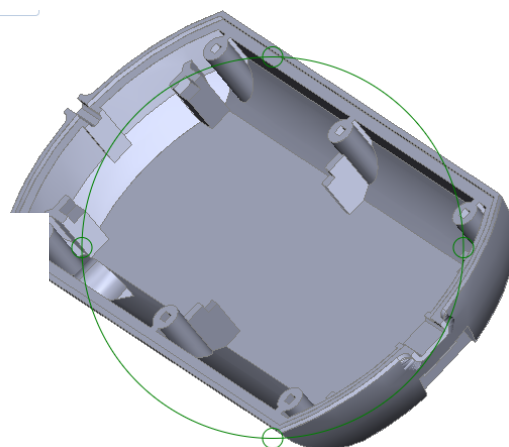


Рисунок 4 – Процесс проектирования корпуса системы мониторинга параметров здоровья человека

Сатурация для наиболее точных показаний должна измеряться под мышкой, из-за большого количества там капилляров и сетки кровеносных сосудов. Остальные датчики располагаются по стандартизированным медицинским показаниям к ЭКГ и измерению температуры тела. На рисунке 5 изображена схема расположения всех датчиков на теле человека.

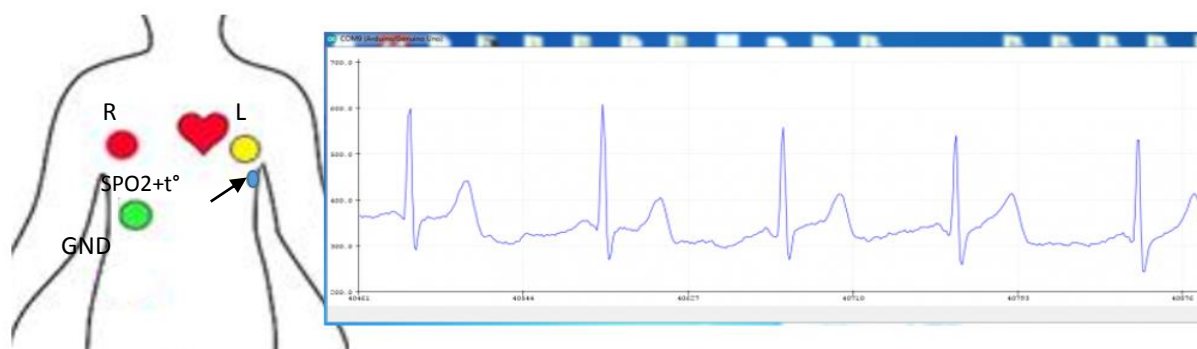


Рисунок 5 – Схема расположения датчиков на теле человека

Корпус системы мониторинга параметров здоровья человека состоит из нескольких частей: корпус под плату, корпус под аккумулятор, корпуса под ЭКГ электроды.

Данную конструкцию устройства системы мониторинга параметров здоровья человека было решено крепить к телу эластичными ремнями в виде лифа, важным показателем в проектировании корпуса стали медицинские показания для расположения всех датчиков.

Устройство после сборки на теле человека представлено на рисунке 6.



Рисунок 6 – Устройство системы мониторинга параметров здоровья человека

Корпус системы мониторинга параметров здоровья человека важно было сконструировать гладким и округлым, чтобы избежать острых и угловатых деталей, т.к. устройство является нательным, необходимо было спроектировать конструкцию корпуса под любые объёмы

грудной клетки любого возраста и пола человека, спроектированные части корпуса вокруг ремня подвижны, что обеспечило широкий диапазон измерений необходимых показаний и делает разрабатываемое устройство эргономически удобным для любого пользователя.

Важно отметить, что в итоге изготовленные пластиковые части корпуса, а также все выбранные электронные компоненты устройства имеют крайне малый вес (устройство весит 58г. в полной комплектации), а обхватывающий вокруг грудную клетку ремень дополнительно закрепляет и держит все датчики в нужных местах, что дает возможность беспрепятственно вести человеку привычный и активный образ жизни во время ношения устройства системы мониторинга параметров здоровья человека. После проектирования и сборки устройства системы мониторинга параметров здоровья человека был разработан принцип управления устройством и обеспечена удаленная связь с врачом по протоколу MQTT с возможностью хранения снятых показаний здоровья и персональных данных пациента. Полное описание работы устройства представлено ниже.

Устройство системы мониторинга параметров здоровья человека работает следующим образом.

Система мониторинга параметров здоровья человека устанавливается на грудную клетку. На смартфон скачивается мобильное приложение для управления системой мониторинга параметров здоровья человека и подключается к сетевому протоколу для обмена данными. Сначала происходит снятие показаний здоровья, которые передаются в MQTT брокера: «WQTT.RU» (используется для цифровых данных) и «Ubidots.com» (используется для отображения данных ЭКГ в виде графика). Полученные данные брокером отправляются в мобильное приложение по сетевому протоколу MQTT[4] для обмена данными, далее полученные данные мобильным приложением публикуются на облачной платформе, где их контролирует лечащий врач пациента, предварительно пройдя регистрацию по логину и паролю. Все приходящие данные здоровья сохраняются на удаленном веб-сервере облачной платформы «Heroku».

Пример полученных показаний в MQTT брокерах отображает рисунок 7.

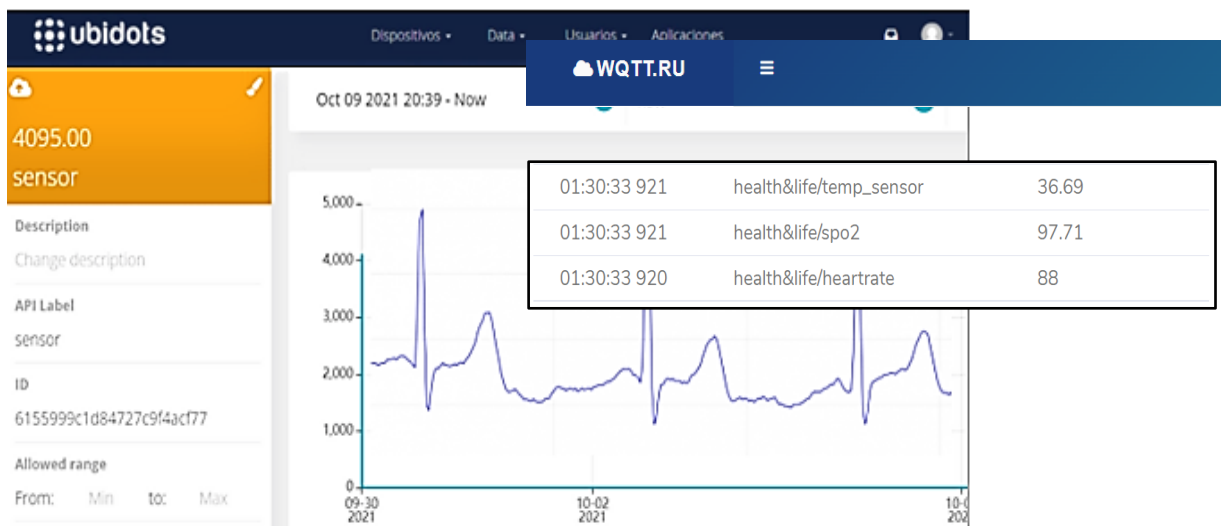


Рисунок 7 – Пример полученных показаний в MQTT брокерах

Далее следует описать подробнее мобильное приложение для управления разработанным устройством.

Разработанное мобильное приложение – пульт управления системой мониторинга параметров здоровья человека под ОС Android версии 6.0 и выше. Язык разработки для мобильного приложения был выбран Kotlin[2].

В мобильном приложении предусмотрен выбор языка русский-английский. Язык приложения определяет настройка выбранного языка в системе используемого смартфона.



Для отображения возможных примеров пользования мобильным приложением для управления системой мониторинга здоровья человека была создана диаграмма вариантов использования, представленная на рисунке 8.

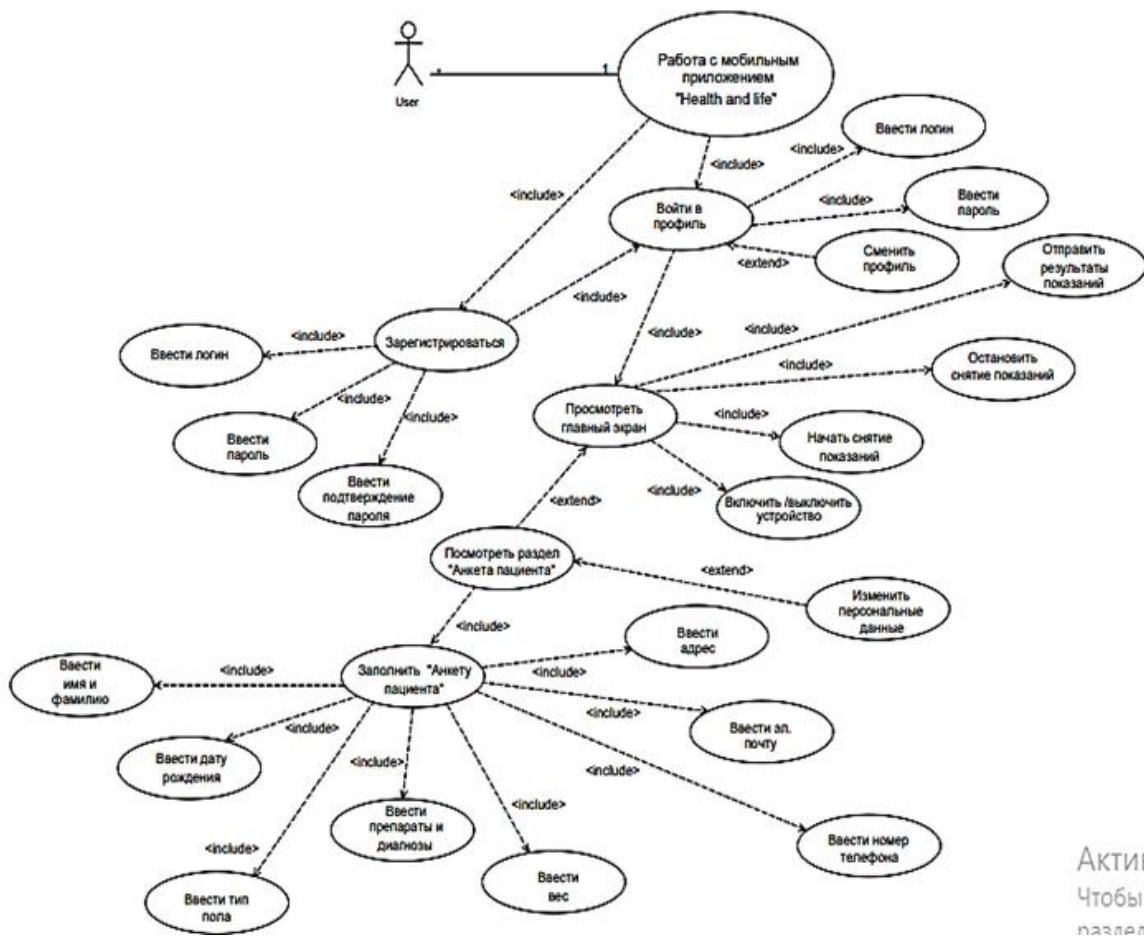


Рисунок 8 – Диаграмма вариантов использования

Выполнение программы начинается с запуска приложения. После запуска приложения пользователь проходит регистрацию, создает свой уникальный профиль: вводит свои уникальные логин и пароль, далее выполняет вход по логину и паролю, попадает в профиль пользователя, включает устройство и видит отображение полученных данных о ЭКГ, ритме пульса, проценте кислорода в крови и температуре на главном экране приложения, также пользователь вводит персональные данные для «Анкеты пациента».

Если пользователь решает остановить снятие показаний – он нажимает на кнопку «Done/Стоп», возобновить – «Retry/Заново».

После того как пользователь завершит управлять устройством, он может выйти из приложения или вернуться к выбору обследованию здоровья. Также пользователь может просматривать свою «Анкету пациента»: ФИО, пол, вес, адрес, контакты, дату рождения, в анкете он может открыть и просмотреть принимаемые ранее препараты и сопутствующие диагнозы по введенным личным данным при регистрации. Также при желании пользователь может сменить аккаунт, введя новые логин и пароль или обновить свою персональную информацию в анкете пациента.

Интерфейс мобильного приложения для управления системой мониторинга параметров здоровья человека представлен на рисунке 9.

Снимаемые данные врач может видеть, как в MQTT брокерах «WQTT.RU» и «Ubidots.com», так и на облачной платформе «Heroku», которые он сможет открыть на своем ПК. Схему работы с данными с возможностью их хранения иллюстрирует рисунок 10.





Рисунок 9 – Пользовательский интерфейс разработанного приложения

Когда устройство подключено, микроконтроллер после прошивки по Wi-Fi модулю, встроенному в МК, подключается к роутеру, попадая в сеть интернет.

Связь данных устройства и приложения осуществлена с помощью MQTT протокола.

MQTT — упрощённый сетевой протокол, работающий поверх TCP/IP, ориентирован

Снимаемые данные врач может видеть, как в MQTT брокерах «WQTT.RU» и «Ubidots.com», так и на облачной платформе «Heroku», которые он сможет открыть на своем ПК. Схему работы с данными с возможностью их хранения иллюстрирует рисунок 10.



Рисунок 10 – Схема работы с данными

Когда устройство подключено, микроконтроллер после прошивки по Wi-Fi модулю, встроенному в МК, подключается к роутеру, попадая в сеть интернет.

Связь данных устройства и приложения осуществлена с помощью MQTT протокола.

MQTT — упрощённый сетевой протокол, работающий поверх TCP/IP, ориентированный для обмена сообщениями между устройствами по принципу издатель-подписчик[4]. Основная сфера его применения в системе мониторинга здоровья человека – доставка небольших сообщений в виде показателей от датчиков в MQTT брокера.

Для связи мобильного приложения и используемого веб-сервера на облачной платформе использован протокол HTTP.

HTTP является протоколом клиент-серверного взаимодействия, мобильное приложение отправляет запрос к серверу, который обслуживает пользователя, предоставляя ему документы по запросу [4]. Полученный итоговый документ состоит из различных поддокументов со скриптами полученных данных с устройства, или уже введенных данных в анкете пациента, хранимых на веб-сервере и являющихся частью итогового документа.

**Заключение.** Таким образом, в данной статье был описан процесс проектирования и разработки устройства системы мониторинга параметров здоровья человека с возможностью управления с помощью мобильного приложения и хранением данных на удаленном веб-сервере. Описан принцип связи устройства и мобильного приложения с MQTT брокером и облачной платформой для хранения данных с использованием веб-сервера, приведена схема работы с данными.

Данное разработанное устройство может найти применение в бытовых условиях при необходимости каждодневного обследования и в медучреждениях.

По произведенным конструкторским расчетам во время проектирования устройства было выявлено, что оно имеет высокие показатели надежности, более 94% и технологичности - свыше 10000ч безотказной работы.

Произведенный компоновочный расчет при конструировании системы мониторинга параметров здоровья человека позволил грамотно расположить выбранные электронные компоненты, выбрать правильные габариты платы и спроектировать корпус для разрабатываемого устройства.

### Список литературы

1. М.С. Голубцов «Микроконтроллеры ESP»: от простого к сложному / М. С. Голубцов - М.: СОЛОН-Пресс, 2018. 288 с. - (Серия «Библиотека инженера») ISBN 5-98003-034-4/ M.S. Golubtsov "ESP Microcontrollers": from simple to hard / M. S. Golubtsov - M.: SOLON-Press, 2018. 288 p. - (Series "Engineer's Library") ISBN 5-98003-034-4.
2. «Kotlin в действии. Разработка Android приложений», Жемеров Д., Исакова С. Kotlin в действии. / пер. с англ. Киселев А. Н. - М.: ДМК Пресс, 2018. - 402 с.: ил./ "Kotlin in action. Android application development", Zhemerov D., Isakova S. Kotlin in action. / translated from English. Kiselev A. N. - M.: DMK Press, 2018. - 402 p.: ill.
3. ГОСТ / ТУ 16-505.185-71 «Провода монтажные теплостойкие с изоляцией из фторопласта».
4. «Mqtt.ru» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://mqtt.ru/articles/prostye-resheniya/cto-takoe-mqtt>. - Дата доступа: 03.03.2022./ "Mqtt.ru" [Electronic resource] - Mode of access: <https://mqtt.ru/articles/prostye-resheniya/cto-takoe-mqtt>. - Date of access: 03.03.2022.
5. Конструирование радиоэлектронных устройств: Учебно-метод. пособие/ Н.С. Образцов, Н.И. Каленкович, А.М. Ткачук и др. – Минск.: БГУИР, 2006.

UDC 621.9.048.7

## PROJECT ACTIVITY IN THE FIELD OF TELEMEDICINE. SYSTEM FOR MONITORING HUMAN HEALTH PARAMETERS

Stefniak Y.V.

"Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics"  
Affiliate "Minsk Radioengineering College"  
Minsk, Republic of Belarus

Scientific adviser: Avhimovich I.V. - Chairman of the "Programmable mobile systems", teacher of the highest category of general professional and special cycles

**Annotation.** Nowadays millions such as people with diseases of cardiovascular, low-mobility people, pregnant women, people whose diseases make it impossible for them to get out of home without help can't visit medical institutions because of coronavirus pandemic. The problem is highly important for the low-mobility people suffering from chronic diseases because some of them have to measure their health parameters on a daily basis. Statistics suggest that 40% of the Belarusian population are the target group. It needs to be mentioned that up to 30% of the belarusian population are suffering from cardiovascular diseases and 16% of them require a constant medical check-up. Furthermore, over 36% of the belarusian population are suffering from post-COVID syndrome and related cardiovascular diseases. On the basis of this problem, the device of health parameter monitoring system has been developed. This is a device for taking electrocardiogram (ECG) readings, measuring body temperature, heart rate and blood oxygen level. It is controlled through the use of a mobile application which stores data on a cloud platform and connects to it by using a web server with the help of which the physician monitors the patient's device readings.

**Keywords.** system, health monitoring, microcontroller, electrocardiogram, pulse oximeter, saturation, temperature, MQTT protocol, MQTT broker, web server, mobile application