

УДК 616.71

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ «ДИСПЕТЧЕР ЗДОРОВЬЯ»



**А.В. Гордиевич**

Инженер-программист ОАО «АГАТ-системы управления» - управляющая компания холдинга «Геоинформационные системы управления»  
alinagordievich78@gmail.com



**А.Д. Скрипка**

Студент физического факультета БГУ



**П.В. Камлач**

Заместитель декана ФКП, доцент кафедры электронной техники и технологии БГУИР, кандидат технических наук, доцент  
kamlachpv@bsuir.by

### **А.В. Гордиевич**

Окончила Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Область научных интересов связана с разработкой методов и алгоритмов автоматизированных систем сбора и обработки информации для контроля за состоянием здоровья.

### **А.Д. Скрипка**

Студентка четвертого курса Белорусского государственного университета. Область научных интересов связана с разработкой методов и алгоритмов автоматизированных систем сбора и обработки информации для контроля за состоянием здоровья.

### **П.В. Камлач**

Окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Область научных интересов связана с разработкой и моделированием работы систем медицинского назначения.

**Аннотация.** Разработана автоматизированная система для сбора, обработки и передачи данных о состоянии здоровья. Основное назначение системы – оценка состояния сердечно-сосудистой системы пациента. В системе в непосредственной близости к пациенту и удаленно осуществляются измерения и оценка показателей здоровья, представление информации от датчиков и результатов визуально на экранах, передача данных современными техническими средствами для удаленного использования. Получены рекомендации по выбору элементной базы для создания автоматизированной системы медицинской диагностики «Диспетчер здоровья», которая может быть использована в практике медицинского учреждения.

**Ключевые слова:** Автоматизированная система для контроля состояния здоровья, частота сердечных сокращений, передача данных, экстренная помощь, элементная база, датчик, микроконтроллер.

### **Введение.**

В современном мире существует множество устройств для оценки состояния здоровья человека. С каждым годом потребность в таких устройствах увеличивается. Приоритетной является задача проведения всесторонней и своевременной диагностики пациента с использованием мобильных автоматизированных систем, выполненных из совокупности микропроцессорных устройств и специализированных программных средств.

В современном мире мы не можем представить медицинскую диагностику без использования современных технологий, в первую очередь – автоматизированных систем. Одной из таких систем является «Диспетчер здоровья» – комплекс, созданный для более точного и быстрого определения диагноза пациента, выполненный из совокупности микропроцессорных устройств и специализированных программных средств.

### **Актуальность.**

Современный рынок постоянно предоставляет устройства для расширения возможной медицинской диагностики (беспроводной стетоскоп, мобильный тонометр, фитнес-трекеры и т.п.). Все они обладают рядом полезных свойств и усовершенствований, но имеют и разного рода недостатки. К положительным качествам указанных и подобных им средств можно отнести их большое разнообразие и доступность на рынке, портативное исполнение, оперативное предоставление полезных показателей здоровья. Из минусов, имеющих место в большинстве случаев, надо указать на высокую стоимость качественных приборов, невысокую точность и низкую достоверность измерений, выполняемых приборами широкого потребления, отсутствие полноты и требуемой информативности результатов, которые необходимы врачу для постановки точного диагноза и выработки экстренного решения для оказания помощи, отсутствие или ограниченность технических возможностей для подключения таких интеллектуальных средств обработки и распределения информации как смартфоны и другие гаджеты, удаленные приборы диагностики, наличие высокой сложности и стоимости обеспечения связи для оперативного диалога между пациентом и медицинскими работниками [1].

Решение ряда из указанных проблем возможно на основе создания мобильной автоматизированной системы для контроля за сердечно-сосудистой деятельностью пациента с целью выработки компетентного решения об оказании необходимой помощи.

### **Описание микропроцессорной системы для сбора, обработки и передачи данных о состоянии здоровья.**

Микропроцессорная система «Диспетчер здоровья» предназначена для сбора, обработки и передачи данных о состоянии здоровья. Она включает в себя:

- портативное устройство для сбора и передачи данных, которое включает набор датчиков для измерения параметров состояния органов и систем пациента и средства связи для доставки полученных данных близко расположенным и удаленным пользователям – специалистам;
- комплект средств обработки и визуализации для специалистов, располагаемый в непосредственной близости от пациента;
- комплект средств обработки и визуализации для специалистов, располагаемый удаленно от пациента;
- удаленные диагностические приборы;
- средства связи с глобальной сетью *Internet*.

Микропроцессорная система «Диспетчер здоровья» приведена на рисунке 1.

В системе предусматривается возможность подключения широкого перечня датчиков, а также использование различных средств обработки данных и доступных пользователю коммуникационных средств. В состав средств связи предполагается включать средства для непосредственной и удаленной связи между отдельными частями системы (датчиками, установленными на теле пациента, средствами обработки, отображения), средства для обмена данными об измеренных датчиками параметрах пациента с находящимися в шаговой оперативной доступности и удаленными приборами их обработки, средства доведения результатов удаленной обработки к устройствам контроля состояния здоровья и оказания помощи.

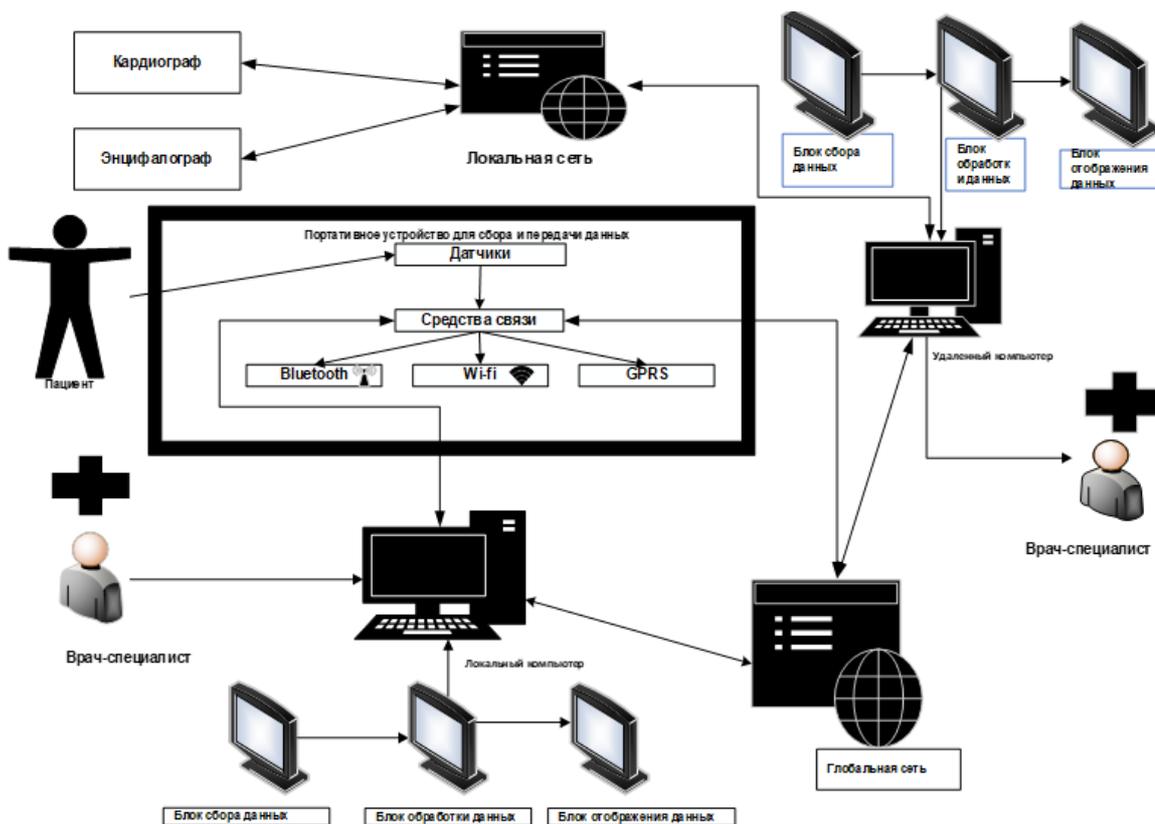


Рисунок 1. Микропроцессорная система для сбора, обработки и передачи данных о состоянии здоровья

На рисунке 2 приведена более подробная схема портативного устройства для сбора и передачи данных.

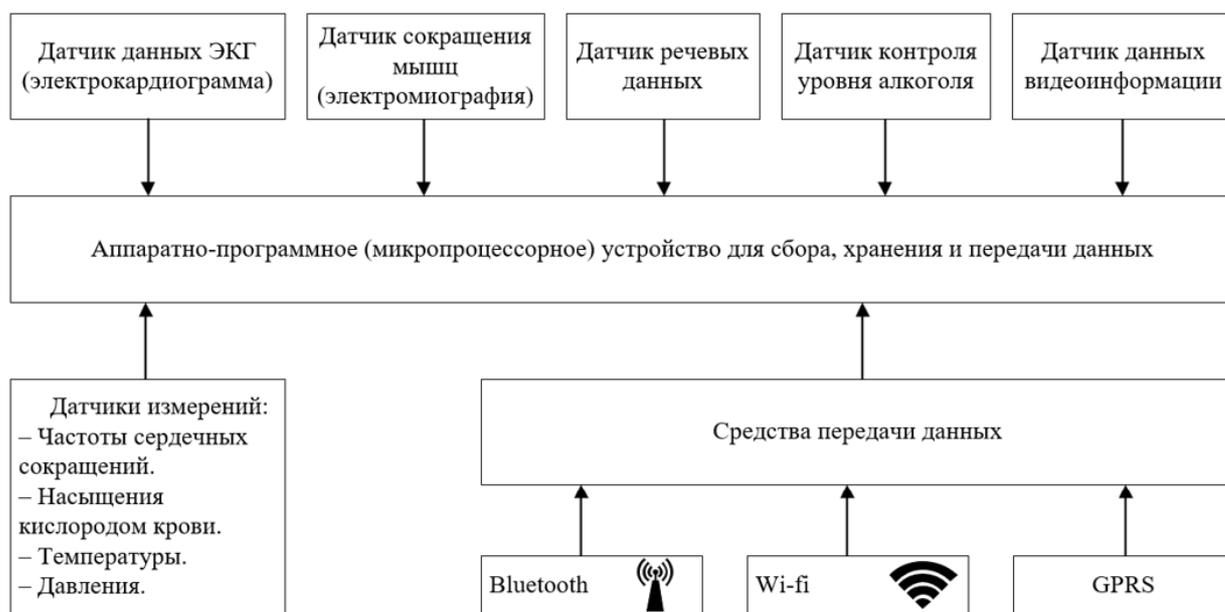


Рисунок 2. Схема портативного устройства для сбора и передачи данных

Для использования системы с целью диагностики сердечно-сосудистой деятельности пациента в ее составе предполагается подключение к пациенту следующие типов датчиков:

- датчик данных для съема электроэнцефалограммы (ЭЭГ);
- датчик видеoinформации о внешнем виде пациента;
- датчик речевых данных;
- датчик данных электрокардиограммы (ЭКГ);
- датчик контроля уровня алкоголя;
- датчик контроля за сокращениями мышц (датчик электромиографии);
- датчик уровня насыщения крови кислородом,
- датчик температуры тела;
- датчик кровяного давления (тонометрия);
- датчик частоты сердечных сокращений (пульсометр).

В состав средств передачи данных предлагается включить:

- модуль *Bluetooth*;
- модуль *Wi-Fi*;
- модуль *GPRS (General Packet Radio Service)*.

Для организации связи между компьютерами может использоваться глобальная сеть Internet или средства локальной вычислительной сети типа Ethernet.

Для подключения средств связи к датчикам в составе портативного устройства предлагается использовать аппаратно-программное (микропроцессорное) устройство для сбора, хранения и передачи данных.

На рисунке 3 схематически показано подключение датчиков к пациенту.

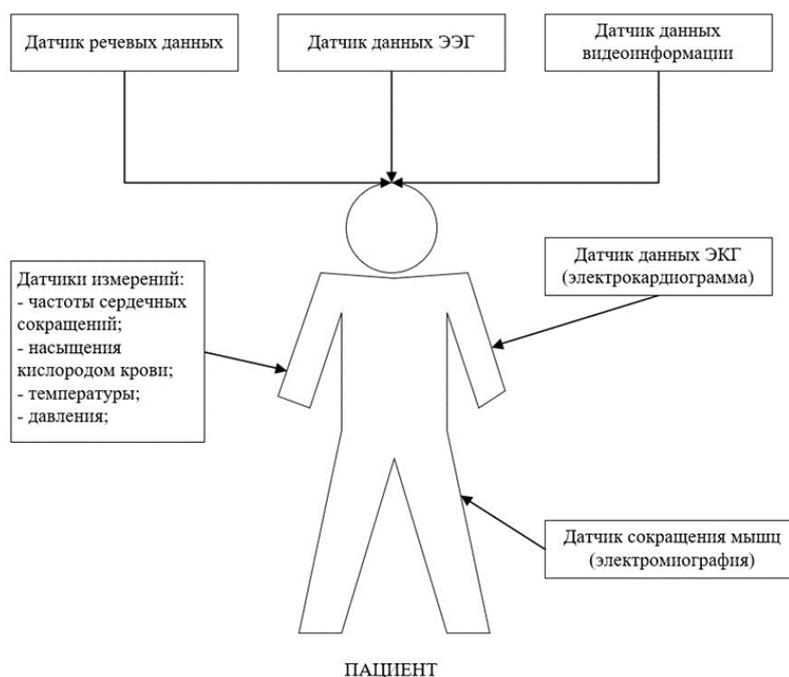


Рисунок 3. Схема подключения датчиков к пациенту

Удаленными датчиками для пациента могут быть такие приборы как энцефалограф и кардиограф, которые показаны на рисунке 1.

#### **Характеристики модулей, предлагаемых для передачи данных.**

Технология, используемая для построения модулей *Bluetooth*, является беспроводной. Применяется для дистанционной передачи данных на коротких расстояниях между различными

приборами. Технология *Bluetooth* работает в пределах до 10 м. Общим требованием является обеспечение возможности подключения двух устройств между собой, однако может выполняться подключение одного устройства одновременно к нескольким устройствам.

Технология *Wi-Fi* используется для создания локальной компьютерной сети и организации удалённого доступа в интернет.

*GPRS (General Packet Radio Service)* – это технология пакетной передачи данных, которая функционирует аналогично сети Интернет. В соответствии с этой технологией весь поток данных отправителя разбивается на отдельные пакеты и затем доставляется получателю, где пакеты собираются воедино. При этом совсем необязательно, что все пакеты пойдут одним маршрутом. Такая технология передачи позволяет при помощи портативных устройств получать и передавать информацию на существенно высоких скоростях. Теоретический максимум в *GPRS* составляет 171,2 Кбит/с.

Интернет-технологии (технологии всемирной «паутины») обеспечивают передачу голосовых и текстовых сообщений, а также передачу информации в любых цифровых форматах.

Цифровой формат обеспечивает:

- мгновенную передачу данных в режиме реального времени;
- возможность передавать информацию в разных форматах;
- возможность использовать разные устройства для приема и передачи данных;
- возможность получать удаленный доступ к данным.

Технология локальной вычислительной сети *Ethernet* – это самый распространенный сегодня стандарт локальных сетей. Когда говорят *Ethernet*, то под этим обычно понимают любой из вариантов этой технологии, в которую входят сегодня также *FastEthernet*, *GigabitEthernet* и *10GEthernet*. *Ethernet* – это сетевой международный стандарт передачи данных. Локальные сети *Ethernet* являются пакетными сетями и используют принцип временного мультиплексирования, то есть разделяют передающую среду во времени. В технологии *Ethernet* в качестве алгоритма разделения среды применяется метод случайного доступа.

**Элементная база для выполнения модулей связи.**

Для организации беспроводной связи *Wi-Fi* [2]. Одним из самых популярных инструментов является микроконтроллер *ESP8266*. С помощью этого микроконтроллера можно организовывать связь по интерфейсу *Wi-Fi* обеспечивая устройствам выход в интернет и возможность дистанционного управления и сбора данных. Внешний вид микроконтроллера приведен на рисунке 4.

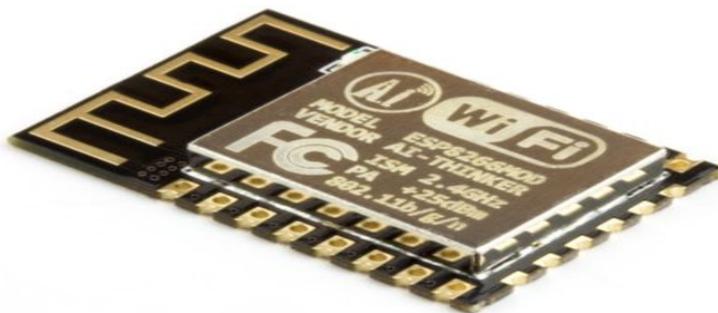


Рисунок 4. Внешний вид микроконтроллера *ESP8266*

Микроконтроллер *ESP8266* имеет возможность исполнять программы из флеш-памяти. Устройство было выпущено в 2014 году китайской фирмой *Espressif* и практически сразу же стало популярным. Микроконтроллер недорогой, обладает небольшим количеством внешних элементов и имеет следующие технические параметры:

- поддерживает *Wi-Fi* протоколы 802.11 b/g/n с *WEP*, *WPA*, *WPA2*;

- обладает 14 портами ввода и вывода, *SPI*, *I2C*, *UART*, 10-бит АЦП;
- поддерживает внешнюю память до 16 МБ;
- необходимое питание от 2,2 до 3,6 В, потребляемый ток до 300 мА, в зависимости от выбранного режима.

Важной особенностью микроконтроллера является отсутствие пользовательской энергонезависимой памяти на кристалле.

*Bluetooth*-модуль *HC-05* – данный модуль является одним из лучших решений для организации двусторонней связи по *Bluetooth* [3]. Он может работать как в режиме ведущего «*master*» (осуществлять поиск *Bluetooth*-устройств и инициировать установку связи), так и ведомого устройства «*slave*» (ведомое устройство). Внешний вид модуля *Bluetooth*-модуль *HC-05* приведен на рисунке 5.

Технические характеристики модуля *HC-05*

- чип *Bluetooth*: *HC-05(BC417143)*;
- диапазон частот радиосвязи: 2,4–2,48 ГГц;
- мощность передачи: 0,25–2,5 мВт;
- чувствительность: –80 дБм;
- напряжение питания: 3,3–5 В;
- потребляемый ток: 50 мА;
- радиус действия: до 10 метров;
- интерфейс: последовательный порт;
- режимы: *master*, *slave*;
- температура хранения: –40...85 °С;
- рабочий диапазон температур: –25...75 °С;
- габариты: 27 x 13 x 2,2 мм.

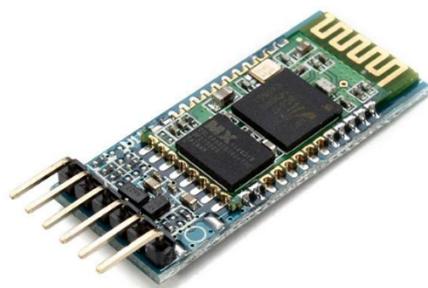


Рисунок 5. Внешний вид *Bluetooth*-модуля *HC-05*

Для обмена Смс-сообщениями и данными по GPRS может быть использован модуль *A6* фирмы *AI-THINKER* [4]. Устройство разработано в 2016 году. Устройство отличается низким потреблением энергии и малыми размерами. Внешний вид устройства приведен на рисунке 6.

Технические характеристики:

- диапазон напряжений 4,5 – 5,5 В;
- питание 5 В;
- диапазон рабочих температур от –30 °С до 80 °С;
- максимальное потребление тока 900 мА;
- *GPRS Class 10*;
- поддержка протоколов *PPP*, *TCP*, *UDP*, *MUX*.



Рисунок 6. Модуль GPRS

В качестве средств отображения могут быть рекомендованы к использованию стандартные мониторы персональных компьютеров, которыми должны оснащаться рабочие места меди-ков-специалистов.

Рассмотрим подробнее варианты для исполнения предложенных ранее датчиков.

Пульсоксиметр *МН-ЕТ МАХ30102* [5]. Внешний вид датчика представлен на рисунке 7.



Рисунок 7. Внешний вид пульсоксиметра *МН-ЕТ МАХ30102*

В корпусе *МАХ30102* реализована полнофункциональная схема сенсорного модуля для создания портативных систем пульсоксиметрии с высокими требованиями к точности измерений. Устройство имеет миниатюрные размеры, добиться которых удалось без ущерба для оптических или электрических характеристик. Для интеграции в полнофункциональную носимую измерительную систему потребуется минимум дополнительных внешних компонентов.

Процентное содержание кислорода в крови в данном случае определяется неинвазивным методом через кожу (о чем свидетельствует обозначение «*Sp*»), как процентное отношение насыщенного кислородом гемоглобина ( $HbO_2$ ) к общему содержанию гемоглобина ( $HbO_2 + Hb$ ), определяемых с помощью фотодетектора, ИК и красного светодиода *МАХ30102*.

Подсистема измерения  $SpO_2$  включает схему компенсации внешней засветки (КВЗ), сигма-дельта-АЦП и патентованный цифровой фильтр. КВЗ имеет внутреннюю схему блокировки сигнала для устранения внешней засветки и расширения эффективного динамического диапазона. АЦП программируется во всем диапазоне измерений 2-16 мкА. КВЗ позволяет блокировать сигнал внешней засветки величиной до 200 мкА.

В *MAX30102* имеется встроенный датчик температуры для калибровки температурной зависимости подсистемы измерения  $SpO_2$ . Датчик температуры имеет разрешение  $0,0625^{\circ}C$ .

Выходные данные *MAX30102* сравнительно нечувствительны к длине волны ИК-светодиода, тогда как длина волны красного светодиода имеет решающее значение для правильной интерпретации результатов измерений. Используемый *MAX30102* алгоритм для измерения  $SpO_2$  позволяет компенсировать ошибки, возникающие с изменением температуры окружающей среды.

Модуль измерения ЭКГ на базе *AD8232*. Внешний вид датчика представлен на рисунке 8.

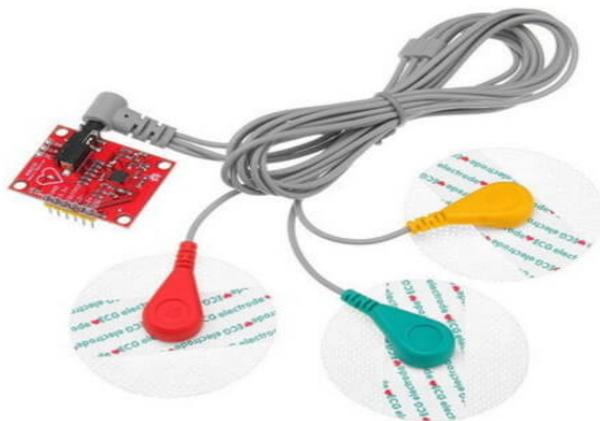


Рисунок 8. Внешний вид модуля измерения ЭКГ на базе *AD8232*

Датчик ЭКГ *AD8232* разработан компанией *Analog Devices*, он на 50% компактнее и использует на 20 процентов меньше энергии, чем аналогичные устройства других производителей. Он состоит из платы *AD8232*, набора электродов и кабеля для их подключения к плате *AD8232* [6].

Преимуществом данного датчика является то, что он предназначен для получения, усиления и фильтрации слабых биопотенциальных сигналов в условиях сильных помех. *AD8232* включает в себя двухполюсный фильтр высоких частот и операционный усилитель, который позволяет использовать технологию многополюсной низкочастотной фильтрации для удаления шума линии и других помех. Благодаря этому датчик можно напрямую подключать к осциллографу через контакт *OUTPUT*. Данный датчик снимает показания ЭКГ по методу двухполюсных отведений, при котором фиксируется разность потенциалов между двумя точками электрического поля. Эти данные можно использовать для мониторинга работы кардиосистемы пациента.

Датчик *MyoWare* измерения параметров сокращения мышц. Внешний вид датчика представлен на рисунке 9.



Рисунок 9. Внешний вид датчика *MyoWare*

Плата *MyoWare*, входящая в состав датчика, действует путем измерения выпрямленной и фильтрованной электрической активности мышцы. Выходное напряжение изменяется от 0 до напряжения питания в зависимости от активности в выбранной мышце [7].

Датчик уровня алкоголя *MQ-3*. Внешний вид датчика представлен на рисунке 10.



Рисунок 10. Внешний вид датчика *MQ-3*

Датчик *MQ-3* обеспечивает обнаружение паров спирта в выдыхаемом пациентом воздухе. близости от дыхания. Датчик аналоговый, поэтому его точность напрямую зависит от калибровки [8].

Принцип работы модуля основан на нагревании чувствительного элемента до определенной температуры: датчик оставляют на 24 часа, не прекращая подачу питания, внутри нагревательного элемента происходит химическая реакция, после чего вещество в датчике становится чувствительным к парам спирта, так как вступает с ними в реакцию. На выходе модуля появляется напряжение, которое меняется в зависимости от концентрации вещества.

Миниатюрная *IP* видеочамера с микрофоном *Ambertek* для видеонаблюдения [9]. Максимально эффективными для проведения видеонаблюдения за пациентом являются устройства, которые являются незаметными и при этом способны фиксировать не только видео, но и звук. Этим требованиям лучше всего соответствуют миниатюрные *IP* камеры с микрофоном, представленные в линейке *Wi-Fi* видеочамер компании *Ambertek*.

Микрофон даёт возможность получения видео со звуком. Благодаря этому создается полная картина событий, происходящих в месте установки. Кроме того, аудиозапись в некоторых случаях позволяет фиксировать то, что остается вне зоны видимости видеочамеры. Некоторые модели с микрофоном оснащаются датчиком звука. Это позволяет им автоматически начинать съемку при распознавании требуемого сигнала. Миниатюрные *IP* камеры оснащаются встроенным микрофоном.

#### **Работы по созданию автоматизированной системы контроля «Диспетчер здоровья».**

В настоящее время в составе работ по созданию микропроцессорной системы обработки, передачи и хранения информации о состоянии здоровья пациента выполнено следующее:

1. Разработана микропроцессорная система для контроля частоты сердечных сокращений во времени на базе платы *Arduino Uno* [10, 11]. Подключение пациента к плате выполнено с помощью датчика *Pulse Sensor*.

2. Выполнено подключение платы *Arduino Uno* к персональному компьютеру с помощью *USB* кабеля, обеспечивающего передачу данных на расстояние до 30 см (рисунок 11).

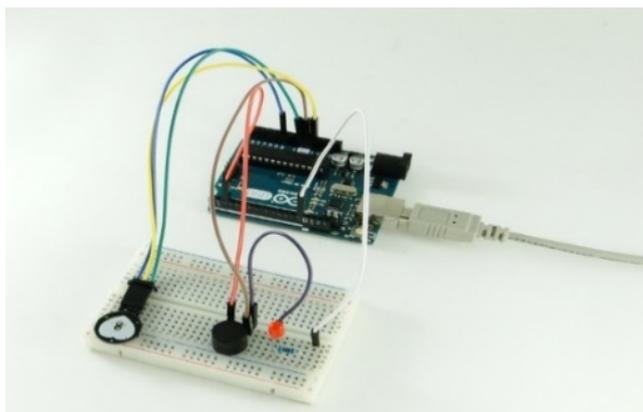


Рисунок 11. Микропроцессорная система для снятия данных о частоте сердечных сокращений

3. Для персонального компьютера разработано программное обеспечение, которое осуществляет прием пульсограммы пациента от платы *Arduino Uno*, ее обработку и визуализацию на экране монитора. Вид пульсограммы при отображении на мониторе приведен на рисунке 12. Программное обеспечение создано на базе языка *Java* в среде разработки *Processing*.

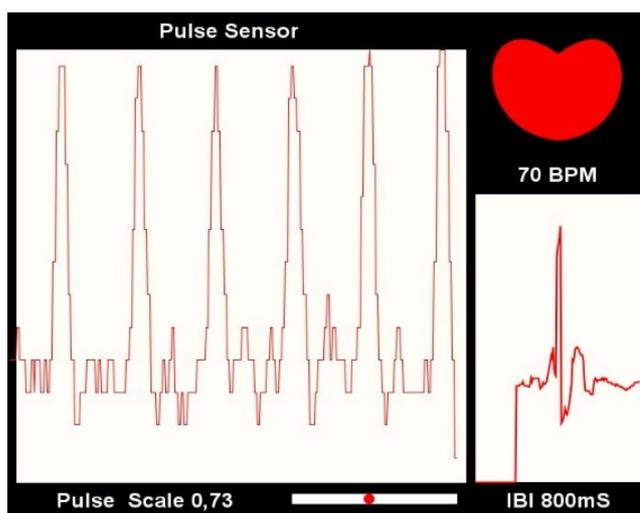


Рисунок 12. Визуализация пульсограммы

4. В компьютере произведена обработка пульсограммы (рисунок 13) с помощью комбинации фильтров Савицкого-Голея и Чебышева [12, 13], обеспечивающих устранение шумов, возникающих при съеме пульсограммы. Для улучшения информативности предоставляемых специалистам результатов на представлении пульсограммы на экране выполнено сглаживание пульсограммы (рисунок 14) с помощью наложения сплайна третьего порядка.

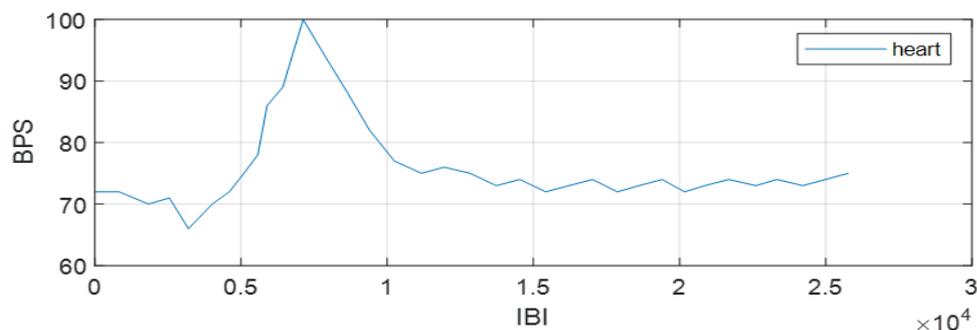


Рисунок 13. График пульсограммы до фильтрации

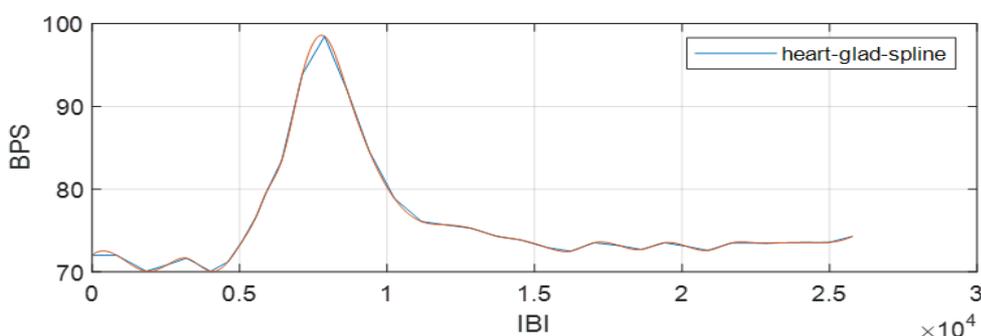


Рисунок 14. Графики пульсограммы после фильтрации и применения сплайна

5. Разработан вариант создания сайта для обеспечения взаимодействия пациента со специалистом на базе *Java SpringBoot*.

### **Заключение.**

В данной работе рассмотрены предложения по разработке микропроцессорной системы сбора, хранения и передачи данных о состоянии здоровья пациента. Рассмотрен также объем и содержание конкретных работ, выполненных по практической реализации рассмотренной системы диагностики с использованием средств передачи данных по *Wi-Fi*. Выбор и оценка элементной базы для автоматической системы медицинской диагностики является важным этапом в разработке и создании системы. Она должна быть надежной, точной и адаптируемой к различным клиническим и эпидемиологическим ситуациям. При правильном выборе и оценке элементной базы можно достичь более точной диагностики и улучшить качество медицинской помощи. В перспективе предполагается дальнейшее практическое развитие системы на описанных принципах. Это позволит при внедрении в медицинскую практику улучшить и ускорить диагностику состояния здоровья пациентов на основе предоставления качественных медицинских данных. Сократится нагрузка на поликлиники, больницы и бригады скорой помощи. Появится возможность удаленного обследования пациентов, тем самым сократиться количество летальных исходов.

### **Список литературы**

- [1] Минченя, В.Т. Автоматизированные системы контроля медикобиологических параметров / В.Т. Минченя, А.Л. Савченко, Р.М. Аси-мов. – Минск: Тесей, 2011. – 168 с.
- [2] Flickenger R. The Wi-Fi Experience: Everyone's Guide to 802.11b Wireless Networking / R. Flickenger. – Que Pub, 2018. – 169 p.
- [3] Bluetooth-модуль HC-05 [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/bluetooth-modul-hc-05/>. – Дата доступа: 10.03.2023.

- [4] GPRS/GSM модуль А6 на базе SIM900А [Электронный ресурс] – Режим доступа : [https://amperkot.by/products/gprs\\_gsm\\_modul\\_a6\\_na\\_baze\\_sim900a/24260128.html](https://amperkot.by/products/gprs_gsm_modul_a6_na_baze_sim900a/24260128.html). – Дата доступа: 10.03.2023.
- [5] Пульсоксиметр МН-ЕТ МАХ30102 [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://compacttool.ru/pulsoksimetr-mh-et-max30102>. – Дата доступа: 10.03.2023.
- [6] Модуль для ЭКГ на базе AD8232 [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://radio-market.by/arduino/41883-modul-dlya-ekg-na-baze-ad8232.html>. – Дата доступа: 10.03.2023.
- [7] Датчики биометрических параметров для Arduino [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://digitrode.ru/articles/1523-biometricheskie-datchiki-sovmestimye-s-arduino.html>. – Дата доступа: 10.03.2023.
- [8] Модуль датчика паров алкоголя MQ-3 [Электронный ресурс] – Режим доступа : [https://tixer.ru/catalog/modules/sensor-modules/modul\\_datchika\\_parov\\_alkogolya\\_mq\\_3/](https://tixer.ru/catalog/modules/sensor-modules/modul_datchika_parov_alkogolya_mq_3/). – Дата доступа: 10.03.2023.
- [9] Миниатюрные IP камеры Ambertek с микрофоном для видеонаблюдения [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://sagent.ru/informaciya-o-tovarah/skrytyh-videokamer/448-luchshie-mini-wi-fi-videokameru-nablyudeniya-s-mikrofonom>. – Дата доступа: 10.03.2023.
- [10] Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino / В.А. Петин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 400 с.
- [11] Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino / У. Соммер. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.
- [12] Васковская Л.Ф. Шестиканальный электрокардиограф с фильтрацией электрокардиограмм / Л.Ф. Васковская, А.В. Гордиевич, П.В. Камлач, И.И. Ревинская, // ИЗОБРЕТАТЕЛЬ Международный научно-практический журнал. – 2021. – № 3. – С. 8–14.
- [13] Васковская Л.Ф. Многоканальный электрокардиограф с фильтрацией электрокардиограмм методами медиан, Савицкого-Голея и Чебышева / Л.Ф. Васковская, А.В.Гордиевич, П.В. Камлач // ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ Международный научно-технический журнал. – 2021. – Том 19, № 6. – С. 45–54.

## AUTOMATED CONTROL SYSTEM «HEALTH SUPERVISOR (DISPATCHER)»

**A.V. Hardziyevich**

*Engineer-programmer open joint-stock company  
«AGAT – Control Systems – Managing Company of Geoinformation Control Systems Holding»*

**N.D. Skrypka**

*Student  
Belarusian State University,  
Faculty of Physics*

**P.V. Kamlach**

*Deputy Dean of the Faculty of Computer-Aided Design, Associate professor of the Academic department of electronic technique and technology, PhD, associate professor*

*Department of Electronic technique and technology*

*Faculty of Computer Engineering*

*Belarusian State University of computer science and Radio Electronics, Republic of Belarus*

*E-mail: alinagordievich78@gmail.com*

**Abstract.** Automated health state data collection, processing and transfer system was developed. The main purpose of the system is to rate the state of the patient cardiovascular system. System provides measurements and evaluations of the health indicators nearby and remote from the patient, shows the data from the sensors on the screens and transfers the data with up-to-date technical means for remote using. Recommendations for choice of elemental base to create the automated medical diagnostic system “Health Supervisor (Dispatcher)”, which can be used in medical establishment practice, were realized.

**Keywords:** Automated health state control system, heart rate, data transfer, emergency help, elemental base, sensor, microcontroller.