

УДК 621.396.99
МРНТИ 28.19.31**ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ
ХОЛТЕРОВСКОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ****Ивель В.П.¹, Герасимова Ю.В.¹, Петров П.А.¹, Молдахметов С.С.¹**
¹СКГУ им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан**Аннотация**

В статье рассматриваются этапы разработки автоматизированной беспроводной системы Холтеровского мониторинга в условиях одного медицинского учреждения. Данная система позволит осуществлять суточный мониторинг сердечной деятельности у нескольких пациентов, путем сбора ЭКС-сигнала по беспроводным каналам на единый сервер. Такая система позволит осуществить достаточно высокое быстродействие и пониженное энергопотребление за счет выбора недорогих Wi-fi приемопередатчиков. В статье рассмотрены вопросы поэтапного создания данной системы, а также приведено обоснование выбора приемопередатчиков с целью создания автоматизированной системы с низким энергопотреблением. Представлены результаты моделирования в среде MatLab и разработанная экспериментальная установка системы передачи ЭКС-сигнала от нескольких Wi-fi передатчиков на сервер для обработки и изучения данных сердечной деятельности у нескольких пациентов одновременно.

Ключевые слова: электрокардиосигнал, Холтеровское мониторирование, Simulink-модель ЭКС-сигнала, Wi-Fi-приемопередатчик.

ХОЛТЕР БАҚЫЛАУ СЫМСЫЗ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУДІҢ НЕГІЗГІ КЕЗЕҢДЕРІ**В.П. Ивель¹, Ю.В.Герасимова¹, П.А. Петров,¹ С.С.Молдахметов¹**
¹М. Қозыбаев атындағы СҚМУ, Петропавл, Қазақстан**Аңдатпа**

Мақалада бір медициналық мекеме жағдайында Холтер бақылау автоматтандырылған сымсыз жүйесін әзірлеу кезеңдері қарастырылады. Бұл жүйе бірыңғай серверге сымсыз арналар арқылы ЭКС-сигналды жинау арқылы бірнеше емделушілерде жүрек қызметінің тәуліктік мониторингін жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Бұл жүйе қымбат емес Wi-Fi қабылдағыштарды таңдау арқылы жеткілікті жоғары жылдамдық пен төмен энергия тұтынуды жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Мақалада осы жүйені кезең-кезеңмен құру мәселелері қарастырылған, сондай-ақ төмен энергия тұтынатын автоматтандырылған жүйені құру мақсатымен қабылдағыш таратқыштарды таңдау негіздемесі келтірілген. MATLAB ортасында модельдеу нәтижелері және бірнеше емделушілерде жүрек қызметінің деректерін өңдеу және зерттеу үшін серверге бірнеше Wi-Fi таратқыштардан ЭКС-сигнал беру жүйесінің әзірленген эксперименттік қондырғысы ұсынылған.

Түйінді сөздер: электрокардиосигнал, Холтер бақылауы, ЭКС-дың Simulink-үлгісі, Wi-Fi қабылдап-таратқыш.

**BASIC STAGES OF THE WIRELESS HOLTER MONITORING SYSTEM
DEVELOPMENT****V. Ivel¹, Y. Gerasimova¹, P. Petrov¹, S. Moldakhmetov¹**
¹NKSU named after M. Kozybaev, Petropavlovsk, Kazakhstan**Abstract**

The article discusses the stages of development of an automated wireless Holter monitoring system in a single medical institution. This system will allow daily monitoring of cardiac activity in several patients by collecting the ECG signal via wireless channels on a single server. The system will allow for a sufficiently high speed and reduced power consumption due to the cheap Wi-fi transceivers. The article describes the stages of

creating this system and provides the rationale for the selection of transceivers in order to create an automated system with low energy consumption. The results of modeling with the MatLab environment and the developed experimental installation of the system for transmitting the ECG signal from several Wi-fi transmitters to the server for processing and studying cardiac activity data in several patients simultaneously are presented.

Key words: electrocardiosignal, Holter monitoring, ECG signal Simulink-model, Wi-Fi transceiver.

Введение

Для диагностики некоторых сердечных заболеваний недостаточно снятия обычной ЭКГ. Для выявления аритмии сердечной мышцы, ишемии (кислородного голодания), контроля работы электрокардиосимулятора и т.д. необходимо применение Холтеровского мониторирования. Холтеровское мониторирование представляет собой непрерывное снятие ЭКГ пациентов в течение суток. Диагностирование с использованием данных такого мониторирования возможно после завершения периода регистрации и сбора [1].

Чтобы охватить большее количество пациентов целесообразно разработка беспроводной автоматизированной системы суточного сбора ЭКГ-сигнала у нескольких пациентов, находящихся в различных точках одного медицинского учреждения. Такая система позволит непрерывно интерпретировать полученные ЭКГ на едином сервере в условиях кардиоцентра. При отклонениях в работе сердечной деятельности, лечащий врач может быть оперативно информирован об этом.

Сегодня известны несколько беспроводных автоматизированных систем сбора ЭКГ-сигнала, базирующиеся на стандартах Zigbee или Bluetooth [2, 3]. Однако такие стандарты беспроводной связи имеют достаточно низкую скорость передачи данных и ограничены по числу конечных абонентов. Стандарт Wi-fi позволяет осуществлять более высокую скорость передачи данных, но проигрывает в вопросе энергопотребления. Однако последние разработки беспроводных Wi-fi приемопередатчиков позволили существенно снизить потребляемую электроэнергию. Таковым устройством является Wi-Fi модуль NodeMcu v3 с чипом ESP8266 [4].

Применение подобных модулей позволит решить несколько задач: пониженное энергопотребление, высокая скорость передачи данных, достаточно высокое количество одновременно подключаемых абонентов, возможность осуществления суточного мониторинга в условиях одного кардиоцентра.

Методы исследования

В качестве методов исследования применялись сравнительный анализ существующих систем беспроводного ЭКГ-мониторинга, математическое и виртуальное моделирование системы сбора данных, применение существующих баз данных ЭКГ-сигналов, экспериментальный выбор подходящих модулей, конечный эксперимент.

Данная система разрабатывалась на базе СҚГУ им. М. Козыбаева в рамках проекта № AP05130275 по программе 217 «Развитие науки» по теме «Разработка беспроводной автоматизированной системы электрокардиодиагностики».

Результаты исследования

На Рисунке 1 изображена общая функциональная схема беспроводной системы Холтеровского мониторирования для использования в условиях одного кардиоцентра.

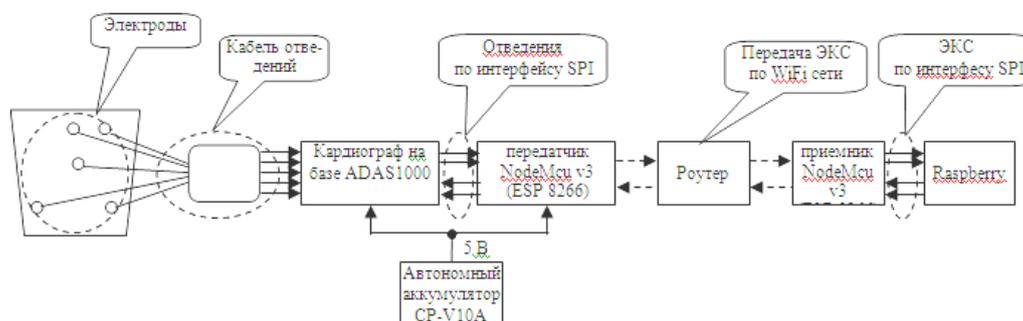


Рисунок 1 Функциональная схема системы Холтеровского мониторинга

Основные элементы, входящие в систему:

1. 5 электродов, подключаемых к пациенту.
2. Специализированный кабель отведений для Холтеровского мониторинга.

3. Кардиограф на базе интегральной микросхемы ADAS1000 фирмы Analog Devices [5]. Данная микросхема представляет собой набор усилителей аналоговых сигналов с фильтрацией и дополнительными отведениями. Взаимосвязь между кардиографом и модулем беспроводной передачи осуществляется через интерфейс последовательной передачи данных SPI, где роль ведущего устройства играет микросхема кардиографа.

4. Wi-fi передатчик на базе модуля NodeMcu v3 с чипом ESP8266, характеристики которого рассмотрены в работе [6]. Микросхема кардиографа и Wi-fi модуль питаются от автономного аккумулятора, что позволит осуществить защиту от центрального отключения источника электроэнергии.

5. Роутер или модем, обеспечивающий беспроводную связь между двумя и более приемопередатчиками.

6. Принимаемые ЭКС-данные WiFi-приемник может передавать на миникомпьютер класса Raspberry[7]. Связь с ним также осуществляется по интерфейсу SPI, где модуль беспроводной связи выполняет роль подчиненного устройства.

Программа для передачи и приема ЭКС-сигнала пишется в программном обеспечении Arduino IDE. Миникомпьютер класса Raspberry позволяет интерпретировать принимаемые данные, а также с помощью графопостроителя осуществляет визуальное представление ЭКГ. Для этого пишется отдельная программа, которая компилируется в миникомпьютер.

Один из основных вопросов заключается в достижении низкого энергопотребления с помощью выбора подходящих модулей беспроводной связи. Чтобы подсчитать суточное энергопотребление необходимо измерить напряжение на входе приемопередатчика и потребляемый ток.

Напряжение на выводах VCC и GND измеряется просто и равно примерно 4,8 Вольт (Рисунок 2).

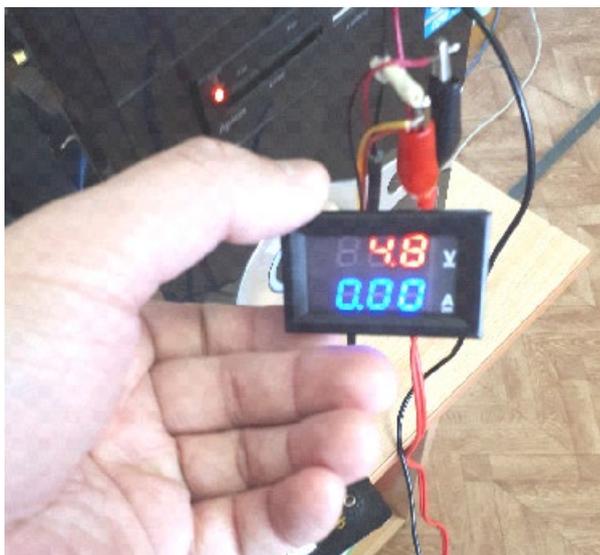


Рисунок 2 Напряжение на линии питания модуля NodeMcu v3

Потребляемый ток рассчитывается путем установки амперметра в разрыв между линией питания и беспроводным модулем. Экспериментально установлен ток потребления 72,4 мА (Рисунок 3).

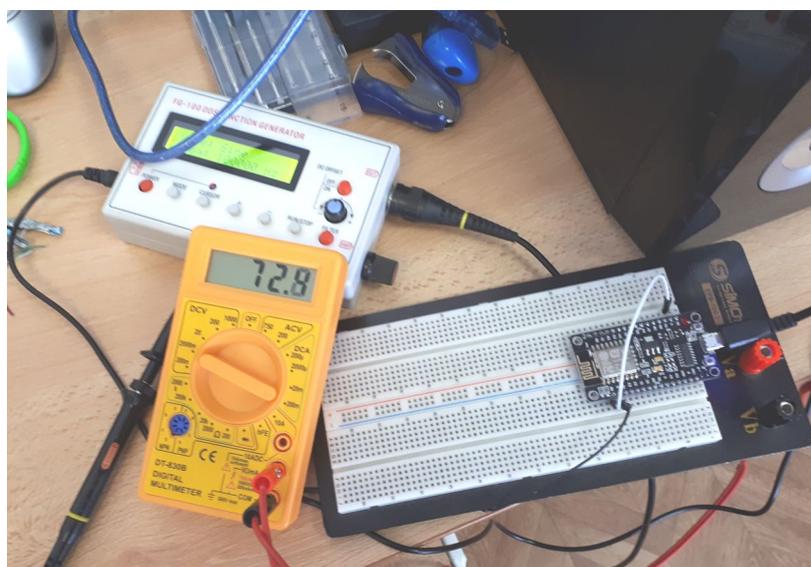


Рисунок 3 Потребляемый мгновенный ток модулем NodeMcu v3

Рассчитать мгновенное энергопотребление можно по следующей формуле:

$$P = 72,8mA * 4,8V = 349,44mWatt.$$

Расчетное время энергопотребления за 1 час равно:

$$P = 349,44mWatt * 60сек * 60мин = 1257,784Watt \cdot час.$$

Таким образом, суточное энергопотребление будет равно:

$$P = 1257,784 \text{ Ватт} * 24 \text{ часа} \approx 30 \text{ кВт} \cdot \text{час}.$$

Таким образом, получаем суточное энергопотребление выше, чем у стандартов ZigBee и Bluetooth, но ниже, чем у других Wi-fi модулей. При этом, выигрываем в скорости передачи данных, а также увеличенному количеству подключенных абонентов.

Для того чтобы наладить и настроить параметры беспроводной передачи ЭКС-сигнала, необходимо воспользоваться архивной базой ЭКС PhysioBank ATM[8,9]. База представляет из себя ресурс со множеством близких к реальным моделям ЭКС-сигналов с наличием реальных патологий. Также база имеет приложения для перевода существующих электрокардиологических сигналов в модели MatLab.

Для получения реального ЭКС-сигнала используются пакеты MatLab, такие как Simulink, Simulink Desktop Real-Time и многофункциональная плата ввода-вывода PCI-1710HG. На рисунке 4 представлена Simulink-модель передачи ЭКС-сигнала, записанного в рабочую память Workspace, на выходные контакты платы PCI-1710HG (Analog Output).

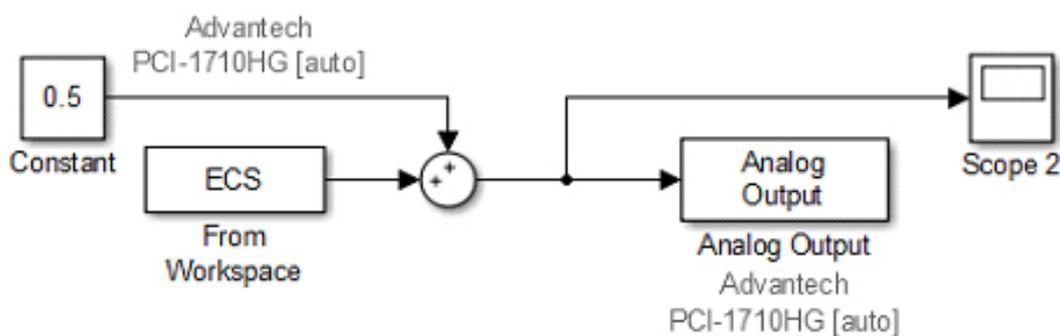


Рисунок 4 Simulink-модель для получения реального ЭКС-сигнала

На Рисунке 5 представлена временная диаграмма ЭКС-сигнала, полученной путем обработки в среде Matlab реальной ЭКГ из базы PhysioBank ATM.

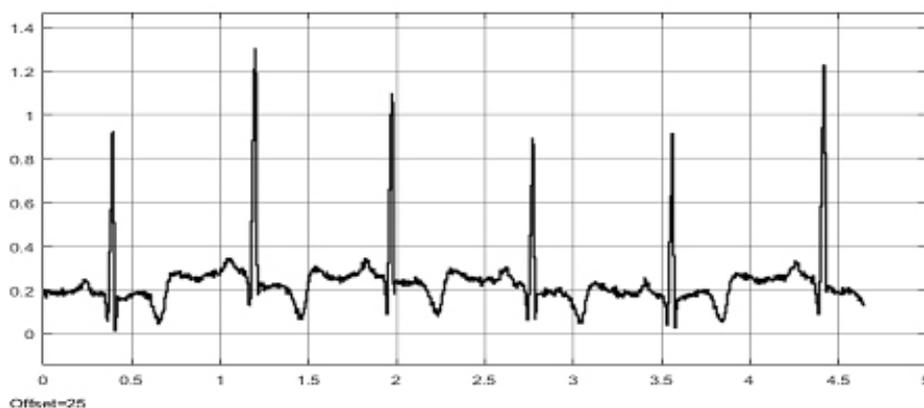


Рисунок 5 Пример ЭКС-сигнала, обработанного в MatLab

На Рисунке 6 представлена разработанная структура беспроводной автоматизированной системы Холтеровского мониторинга для режима отладки и настройки параметров беспроводной системы передачи ЭКС-сигнала.

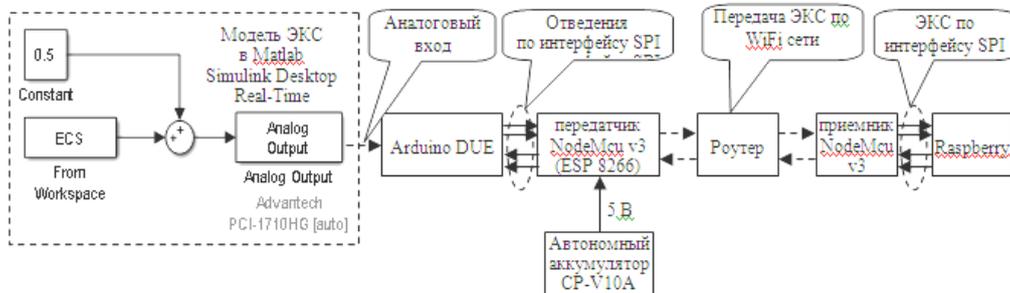


Рисунок 6 Отладочная схема для системы Холтеровского мониторинга

Данная структурная схема снабжена микропроцессором Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 [10], расположенного на отладочной плате Arduino Due. Микропроцессор получает аналоговые ЭКС-сигналы и по интерфейсу SPI передает их на подчиненный модуль беспроводной связи NodeMcu v3 (ESP 8266). Wi-fi передатчик предварительно программируется для передачи ЭКС-сигнала по локальной сети WiFi в виде дискретных 2-х байтных значений через роутер на приемник (также на базе NodeMcu v3). В качестве интерпретатора также выступает мини-компьютер Raspberry.

Для демонстрации работы системы Холтеровского мониторинга представлена одноканальная система (Рисунок 7), так как она наиболее точно отражает принцип работы схемы для любого количества отведений.

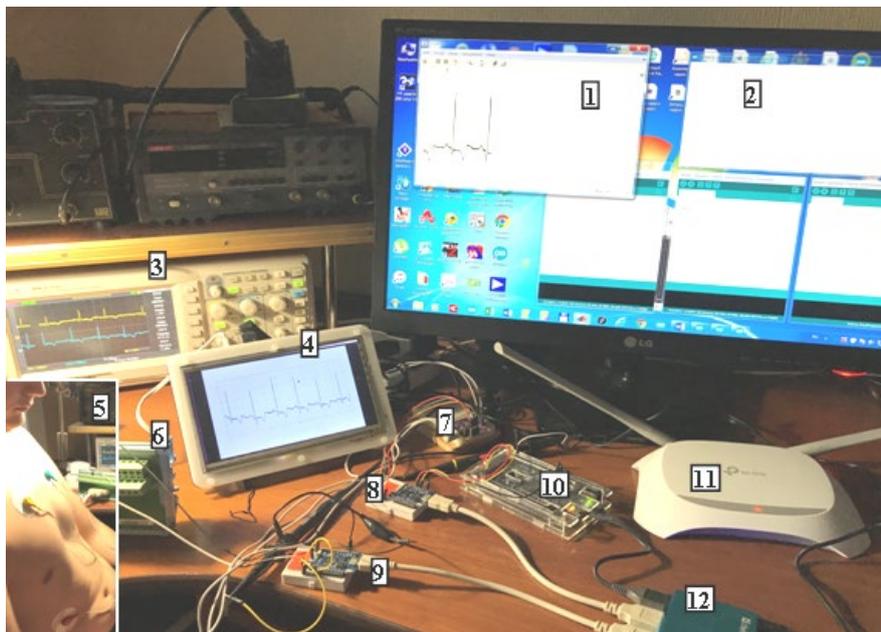


Рисунок 7 Экспериментальная одноканальная система Холтеровского мониторинга

На Рисунке 7 пронумерованы следующие компоненты системы:

1 – график реального выходного сигнала ЭКС, полученного при помощи пакета Matlab – Simulink Desktop Real-Time, клеммного соединителя ADAM-3968 – 6, подключенного через кабель к многофункциональной плате ввода-вывода PCI-1710HG [10], установленной в слот PCI персонального компьютера;

2 – осциллограмма ЭКС-сигнала, полученная с помощью графопостроителя на основе платы Arduino Due;

3 – осциллограммы входного и выходного (полученного с помощью 12-разрядного аналогового выхода Arduino Due) ЭКС-сигналов;

4 – график выходного ЭКС-сигнала, полученного на мини-компьютере Raspberry;

5 – схема установки электродов на пациенте;

6 – клеммная колодка ADAM-3968;

7 – модуль AD8232, представляющий собой усилитель аналоговых сигналов с фильтрацией [11];

8 – Wi-Fi приемник – WeMos d1 mini pro;

9 – Wi-Fi передатчик – WeMos d1 mini pro;

10 – платформа Arduino Due;

11 – Wi-Fi роутер класса TP-LINK;

12 – USB-разветвитель для подключения Wi-Fi приемо-передатчиков и Arduino к компьютеру.

Дискуссия

Разработано и реализовано схемотехническое решение передачи ЭКГ-сигнала при помощи двух Wi-fi приемопередатчиков. Выбранные модули беспроводной связи обеспечивают допустимое энергопотребление, высокую скорость передачи данных и допустимо большое количество подключенных абонентов.

Показаны этапы разработки беспроводной автоматизированной системы Холтеровского мониторинга.

Разработаны алгоритмы беспроводной передачи ЭКС-сигнала, обеспечивающие синхронность выполнения записи принимаемых данных и их передача.

Представленная система позволяет разработать многоканальную систему передачи и обработки ЭКГ от множества пациентов на единый сервер.

Заключение

Результатом проведенной научно-исследовательской работы является разработанные структурная и функциональные схемы Холтеровского мониторинга ЭКГ-сигналов, предназначенные для применения в домашних условиях или в рамках одного кардиоцентра. Также разработан отладочный комплекс одноканальной системы беспроводной передачи ЭКС с использованием открытой базы ЭКГ и программно-аппаратных средств для получения реальных копий ЭКГ с различными патологиями.

Предложенная система беспроводной передачи измерений ЭКГ сокращает время активной работы приемо-передатчиков по предварительной оценке на 30% и на треть сокращает расход электроэнергии.

Литература:

1. Аксельрод А.С. Холтеровское мониторирование ЭКГ: возможности, трудности, ошибки / Аксельрод А.С., Чомахидзе П.Ш., А.Л.Сыркин. М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2007. - 186с.

2. Аль-Дхамари Д.Х., Безуглов Д.А., Шевчук П.С., Енгибарян И.А. Разработка беспроводной системы дистанционного мониторинга состояния пациентов на основе Zigbee и Labview // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.
3. Свита Сергей Юрьевич, & Петрыкин Денис Алексеевич (2018). Разработка автономного устройства длительного ЭКГ-мониторирования. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника, 18 (1), 106-109.
4. Абдрахманов Вали Хызырович, Важаев Константин Владимирович, & Салихов Ренат Баязитович (2017). Разработка средств автоматизации с использованием Wi-Fi модулей ESP8266 и Irtwan технологий. Электротехнические и информационные комплексы и системы, 13 (4), 98-108.
5. Петровский М.А., Кузьмин А.В., & Чураков П.П. (2018). Особенности использования analog front-end в мобильных системах экг-мониторинга. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления, (26), 92-105.
6. Абдрахманов Вали Хызырович, Важаев Константин Владимирович, & Салихов Ренат Баязитович (2018). Разработка системы детектирования информационных сигналов звукового диапазона с использованием микроконтроллеров STM32 для мониторинга состояния биологических объектов. Электротехнические и информационные комплексы и системы, 14 (3), 80-87.
7. Румянцев Д.Ю., Андреев Р.А., & Мышьянов С.В. (2019). Разработка программно-аппаратного комплекса для проведения измерений параметров сети мобильной связи на базе Raspberry Pi. Экономика и качество систем связи, (4 (14)), 61-68.
8. Петров Сергей Павлович, Епишина Екатерина Викторовна, & Воронин Вячеслав Владимирович (2014). Оценка алгоритмов распознавания образов для задач автоматического анализа электрокардиограмм. Евразийский Союз Ученых, (8-8), 27-29.
9. Карпов О.Э., Субботин С.А., & Шишканов Д.В. (2019). Использование медицинских данных для создания систем поддержки принятия врачебных решений. Врач и информационные технологии, (2), 11-18.
10. Абдрахманов Вали Хызырович, Важаев Константин Владимирович, & Салихов Ренат Баязитович (2018). Разработка системы детектирования информационных сигналов звукового диапазона с использованием микроконтроллеров STM32 для мониторинга состояния биологических объектов. Электротехнические и информационные комплексы и системы, 14 (3), 80-87.
11. Богданов М.А., & Бочаров А.Н. (2013). Разработка роботизированной автономной системы. Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 1 (9), 393-394.