

*А. О. Назарова, И. Н. Федорчук**

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ЭКГ ДАННЫХ

Современный ритм жизни требует от нас быстрого принятия решений, связанных с нашим здоровьем. Однако люди не всегда способны оценить свои возможности и потребности правильно, особенно когда речь идет о физическом и эмоциональном состоянии. В этом случае система поддержки принятия решений на основе биологической обратной связи может стать надежным помощником.

Данные системы могут быть полезными для людей, которые ведут активный образ жизни, либо страдают хроническими заболеваниями и имеет проблемы со здоровьем. Такие системы могут помочь людям принимать более осознанные решения, отказаться от физических нагрузок при повышенном сердечном ритме или сменить режим дня при усталости и стрессе. Их основное предназначение – снижение вероятности развития хронических заболеваний в результате длительного сильного стресса.

В данной статье рассматривается концепция системы, состоящей из поверхностных датчиков регистрации электрических сигналов и мобильного устройства, которая позволяет получать информацию о состоянии организма в режиме реального времени и на ее основе принимать решения [1]. В ходе работы поставлена задача управления мобильными системами совместно с методами электрофизиологии, отличающаяся использованием биологической обратной связи для формирования управляющих воздействий.

Электрокардиография (ЭКГ) – это неинвазивный метод исследования сердечного ритма с помощью регистрации разности электрических потенциалов, возникающих в процессе его работы. Измерение сигналов ЭКГ содержит принцип отслеживания вектора и силы электрических токов, которые создают сердечные мышцы человека в процессе работы.

Далее следует описать назначение системы биологической обратной связи (БОС). Данная система – это инструмент для управления стрессом и тренировки релаксации, который позволяет людям научиться регулировать свою физиологическую активность, чтобы

* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. В. Обухова.

восстанавливать или поддерживать вегетативный баланс. Основной способ применения БОС – это обучение и отработка навыков саморегуляции для контроля аффективных, биологических, а также поиск оптимального состояния организма. Для человека процесс освоения этих навыков заключается в двух этапах: распознавания, т.е. определения биологического сигнала благодаря собственному восприятию; саморегуляции посредством применения методов восстановления биологических показателей. Основной целью таких систем является борьба со стрессом. Достигается это благодаря контролю дыхания и концентрации. Таким образом, стабильность и регуляция вегетативной нервной системы может точно и объективно отражать изменения психики человека, в то время как вариабельность сердечного ритма может отражать функцию вегетативной нервной системы человека.

На рисунке 1 показан прототип автономной системы диагностики стресса, которая использует Bluetooth для интеграции устройства ЭКГ с мобильными устройствами для мониторинга ЭКГ.

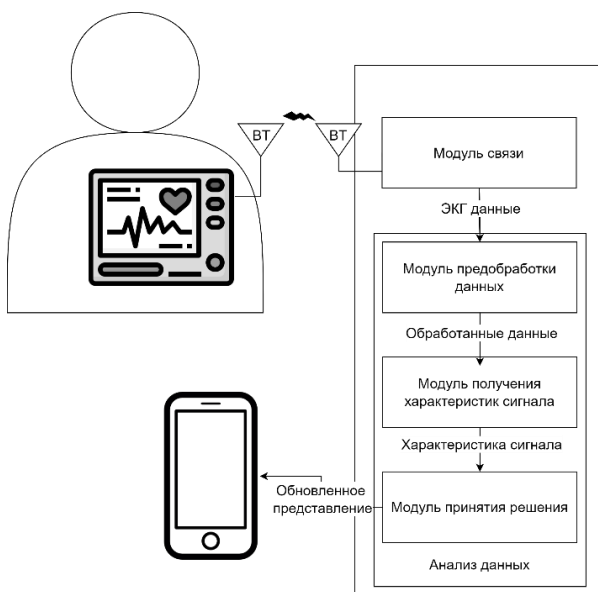


Рис. 1. Прототип автономной системы диагностики стресса

Система состоит из нескольких модулей, перечисленных далее.

Программно-аппаратный модуль ЭКГ холтера – устройство, которое предназначено для сбора данных о сердцебиении человека. На данный момент сбор данных осуществляется по стандартным

двухполюсным отведениям, метод был предложен в 1913 г. Эйтххоеном [2]. Данный метод фиксирует разность потенциалов между двумя точками электрического поля, удаленными от сердца и расположенными во фронтальной плоскости конечностей. Для записи отведений электроды накладывают на правую руку, левую руку и левую ногу.

Модуль связи обеспечивает связь между мобильным телефоном и ЭКГ устройством через Bluetooth. Основной задачей данного модуля является контроль за корректным подключением устройства во время регистрации данных, а также непосредственно передача данных.

Модуль предобработки данных необходим для обработки всех биоэлектрических сигналов, поскольку исходные данные содержат шумы и артефакты, вызванные электрическими помехами, движением человека и т.д., которые способны исказить результаты при выполнении последующих ступеней анализа данных. При очистке данных стоит учитывать, что методы обработки могут достаточно эффективно удалять лишние частоты, однако, их использование связано с высокой стоимостью вычислений, что затрудняет работу таких алгоритмов в реальном времени. При проведении анализа существующих алгоритмов был выбран фильтр, базирующийся на «Разложение по сингулярным значениям» (SVD – singular value decomposition), который может эффективно разлагать сигналы на отдельные компоненты, сохраняя при этом важные характеристики, и поэтому часто используется для удаления шума во время обработки сигналов.

Модуль извлечения характеристик сигнала предназначен для обнаружения стресса. Для извлечения признаков рекомендуется применять вейвлет-преобразование [3], как более современный (при сравнении с Фурье-преобразованием) метод извлечения частотно-временных характеристик. Одной из главных задач вейвлет-анализа является выбор материнского вейвлета. В случае с данными ЭКГ наиболее подходящим выбором будет вейвлет Морле. Затем строится вейвлет-скалограмма, которая позволяет визуализировать распределение мощности в ЭКГ сигнале по времени и частоте. Такой подход позволяет выявить изменения в частотных характеристиках сигнала во времени, например, для обнаружения периодических паттернов и аномалий.

Модуль принятия решения занимается формированием биологической обратной связи в мобильной системе на основе метода анализа иерархий. Для разработки данного модуля необходимо привлечение экспертов в области электрокардиографии. В этом методе эксперты оценивают критерии и альтернативы по шкале относительной важно-

сти, а затем алгоритмические методы используются для вычисления общей важности каждой альтернативы. Этот метод позволяет учитывать не только математические факторы, но и экспертное мнение, что делает его полезным в случаях, когда решение зависит от многих факторов и может быть неоднозначным.

В заключении формирования управляющей реакции, на основе принятого решения, управляющие реакции в системах с биофидбеком представляются каким-либо способом: звуковым сигналом; визуальным индикатором; тактильным сигналом.

Таким образом, виртуальный тренажер с биологической обратной связью адаптируется к текущему состоянию пользователя, что делает его системой, способной подстраиваться под потребности каждого отдельного пользователя. Дальнейшие исследования будут направлены на создание модулей, которые будут собирать, обрабатывать и анализировать медицинские данные о физиологических сигналах человека для более точной адаптации виртуального тренажера под индивидуальные особенности каждого пользователя. Также дальнейшей областью развития является совершенствование устройства ЭКГ для дальнейшего преобразования его в холтер – устройство для продолжительной записи ЭКГ данных.

Список литературы

1. Chiang H. S. Ecg-based Mental Stress Assessment Using Fuzzy Computing and Associative Petri Net //Journal of Medical and Biological Engineering. – 2015. – Т. 35. – С. 833 – 844.
2. Zhao P. J. Einthoven's Triangle Revisited: A Mathematical Proof // arXiv preprint arXiv:2205.06772. – 2022.
3. Алгоритм извлечения признаков и удаления шума электрокардиосигнала на основе вейвлет-преобразования / К. Б. Касымбекова и др. // Проблемы современной науки и образования. – 2017. – № 7(89). – С. 112 – 116.

Кафедра «Системы автоматизированной поддержки принятия решений» ФГБОУ ВО «ТГТУ»